

HANDBUCH DER DÜBELTECHNIK

Das Handbuch der Dübeltechnik vermittelt aktuelles Wissen zur Funktion, Bemessung und Verarbeitung von Dübeln und ist damit ein unentbehrliches Nachschlagewerk und ein wichtiger Ratgeber für die Praxis.

Die theoretischen Grundlagen für Befestigungen mit Dübeln in Beton, Mauerwerk und Porenbeton sind vielfältig. Innovationen und neue Erkenntnisse aus der Grundlagenforschung ermöglichen es heute, für individuelle Befestigungsarten gezielt darauf abgestimmte Dübelprodukte einzusetzen. Das Regelwerk wurde in den vergangenen Jahren umfangreich erweitert und wird teilweise in die europäische Normung überführt. In vielen Anwendungsbereichen sind Dübel erforderlich, die über eine nationale oder eine europäische Zulassung verfügen. Insbesondere bei diesen modernen Produkten benötigen Planer und Anwender umfangreiches Fachwissen hinsichtlich der unterschiedlichen Verankerungsgründe und Einwirkungen sowie der Bemessung und Ausführung.

Das Handbuch der Dübeltechnik gibt einen kompakten Gesamtüberblick über die verschiedenen Verankerungsgründe, stellt die Dübelssysteme beispielhaft vor und erläutert deren Funktionsweise. Die derzeit geltenden Bemessungsverfahren für Dübel zur Verankerung in Beton und Mauerwerk werden zusammengefasst und mit praxisnahen Rechenbeispielen ergänzt.

HANDBUCH DER DÜBELTECHNIK

Überreicht durch die Adolf Würth GmbH & Co. KG

HANDBUCH DER DÜBELTECHNIK

Grundlagen – Anwendungen – Praxis



Swirdoff

Swirdoff

HANDBUCH DER DÜBELTECHNIK

Grundlagen – Anwendungen – Praxis

**Herausgegeben durch die
Adolf Würth GmbH & Co. KG**

Swiridoff Verlag

Vorwort

Sehr geehrte Leserinnen und Leser,

in nur 64 Jahren wurde Würth weltweit zum Marktführer in der allgemeinen Befestigungs- und Montagetechnik. Rund 130.000 verschiedene Produkte vertreiben wir heute (2012) an unsere Kunden in den Branchen Auto, Cargo, Holz, Bau, Metall und Haustechnik.

Seit Jahrzehnten bietet Würth auch ein umfangreiches Dübelprogramm an. Die Dübeltechnik erweist sich als eine der innovativsten Produktreihen im Unternehmen. Dübel sind heute zu Hightech-Produkten geworden, deren Wirkungsweise bis hinein in erdbebengefährdete Regionen nur dann effizient ist, wenn der Anwender genau weiß, welcher Dübel welches Befestigungsproblem optimal lösen kann. Durch ein eigenes, nach DIN EN ISO 17025 akkreditiertes Prüflabor ist der Dübelbereich innerhalb des Unternehmens Würth heute in der Lage, eigene Produkte zu entwickeln und bis zur Zulassung zu bringen.

Viele der Würth Dübelprodukte sind hausinterne Entwicklungen und verfügen über allgemeine bauaufsichtliche oder europäische technische Zulassungen: Überall dort, wo Dübel mit Zulassung verarbeitet werden, brauchen sowohl die Planer als auch die Anwender vertiefte professionelle Kenntnisse über das Bemessen und Montieren dieser Dübel.

Es macht deshalb wenig Sinn, die Dübeltechnik bauwissenschaftlich – durch die intensive Zusammenarbeit mit den Universitäten – immer weiter zu entwickeln, wenn nicht die Planer, Monteure und Anwender auf der Baustelle über das notwendige Spezialwissen verfügen. Schon das falsche Bohren eines Lochs und/oder das fehlerhafte Ausblasen des Bohrstaubes können zu signifikanten Verschlechterungen der Auszugswerte und zu einer kompletten Veränderung der ursprünglich geplanten Konstruktion führen. Um hier Abhilfe zu schaffen, haben wir nun in erster Auflage das Handbuch der Dübeltechnik: Grundlagen – Anwendungen – Praxis herausgegeben. Dieses Fachbuch hat sich über viele Jahre aus dem sehr erfolgreichen und in mehreren Zehntausend Exemplaren erschienenen Handbuch der Würth Dübeltechnik entwickelt. Durch die nun erfolgte umfangreiche Ergänzung um die aktuellen Bemessungsverfahren für Dübel im europäischen Raum konnte nun erstmals ein echtes Fachbuch, auch für den planenden Ingenieur bzw. die Studierenden, geschaffen werden, ohne auf die Grundlagen für die wichtige Montage zu verzichten.

Planer und Entscheidungsträger am Bau finden hier einen Überblick zum aktuellen Stand der Dübeltechnik. Dieses Buch vermittelt alles Wissenswerte zur Bemessung, zum Gebrauch und zur Verarbeitung von Dübeln. Das handliche Format erlaubt es Ihnen, das Buch jederzeit auch auf der Baustelle bei sich zu haben. Schnell wird der geeignete Leser feststellen, wie sich dieses Handbuch zum unentbehrlichen Nachschlagewerk und Ratgeber für die Praxis erweist.

Die Adolf Würth GmbH & Co. KG bietet Ihnen aber noch mehr Service rund um die Dübeltechnik: Für Planer, Bauleiter und Monteure bieten wir in den bundesweiten Würth Niederlassungen das Fachseminar „Moderne Dübeltechnik“ an, welches Ihnen ermöglicht, sich zum „Zertifizierten Befestigungstechniker“ weiter zu bilden.

Der Lehrplan dieses Seminars wurde mit dem IWB, dem Institut für Werkstoffe im Bauwesen an der Universität Stuttgart, dem führenden Institut für Dübeltechnik, erarbeitet. Am Ende des Seminars steht die Prüfung durch ein unabhängiges Institut und die Verleihung des Titels „Zertifizierter Befestigungstechniker“ durch die Universität Stuttgart.

Dem hier veröffentlichten Fachbuch Handbuch der Dübeltechnik wünsche ich eine weite Verbreitung. Sie als Fachleute und Leser werden schnell feststellen, dass Ihnen das hier gebündelte Wissen nicht nur viel Zeit und Ärger, sondern auch Geld spart. Zusätzlich werden die Sicherheit und damit die Qualität der Dübelanwendung ganz deutlich erhöht.

Mit freundlichen Grüßen

Ihr
Reinhold Würth

Inhaltsverzeichnis

	Vorwort	5
	Inhaltsverzeichnis	6
	Inhaltsübersicht	13
1	Einleitung	14
2	Anwendungen mit Befestigungsmitteln	15
2.1	Geschichtliche Entwicklung	15
2.2	Aktuelle Befestigungstechnik	16
3	Verankerungsgrund	22
3.1	Allgemeines	22
3.2	Beton	22
3.2.1	Allgemeines	22
3.2.2	Zusammensetzung	23
3.2.2.1	Zement	23
3.2.2.2	Zuschlagstoffe	23
3.2.2.3	Zugabewasser	25
3.2.3	Wasserzementwert	25
3.2.4	Betondruckfestigkeit	25
3.2.5	Stahlbeton	26
3.3	Mauerwerk	28
3.3.1	Natürliche Steine	29
3.3.2	Künstliche Steine	30
3.3.2.1	Vollsteine	31
3.3.2.2	Lochsteine	32
4	Einwirkungen	34
4.1	Lastabhängige Einwirkungen	34
4.2	Lastunabhängige Einwirkungen	36
5	Montage und Funktion	38
5.1	Allgemeines	38
5.2	Bohren	39
5.2.1	Bohrverfahren	39
5.2.2	Fehlbohrungen	41
5.2.3	Grobbestimmung der Art des Verankerungsgrunds	41
5.3	Montagearten	42
5.4	Montage der Dübelsysteme	42
5.4.1	Allgemeines	42
5.4.2	Metallspreizdübel	43
5.4.2.1	Drehmomentkontrolliert spreizende Dübel	43
5.4.2.2	Wegkontrolliert spreizende Dübel	46
5.4.3	Schraubanker	47
5.4.4	Deckenabhängiger	49
5.4.5	Kunststoffdübel	49
5.4.6	Verbunddübel	51
5.4.6.1	Allgemeines	51
5.4.6.2	Verbunddübel-Patronensysteme	53
5.4.6.3	Risstaugliche Verbunddübel	53
5.4.6.4	Verbunddübel für ermüdungsrelevante (dynamische) Einwirkungen	56
5.4.6.5	Verbunddübel-Injektionssysteme für Verankerungen im ungerissenen Beton und Mauerwerk	57
5.4.7	Spezialdübel	59
5.5	Grundsätzliche Regeln für die Montage	59
6	Tragverhalten von Dübeln	61
6.1	Allgemeines	61
6.2	Hinterschnitt- und Metallspreizdübel	61

Inhaltsverzeichnis

6.2.1	Zugbeanspruchung im ungerissenen Beton	61
6.2.2	Querbeanspruchung im ungerissenen Beton	68
6.2.3	Kombinierte Zug- und Querbeanspruchung im ungerissenen Beton	72
6.2.4	Zugbeanspruchung im gerissenen Beton	72
6.2.5	Querbeanspruchung im gerissenen Beton	74
6.2.6	Kombinierte Zug- und Querbeanspruchung im gerissenen Beton	74
6.3	Schraubanker	75
6.3.1	Setzen in Beton	75
6.3.2	Zugbeanspruchung im ungerissenen Beton	77
6.3.3	Querbeanspruchung im ungerissenen Beton	78
6.3.4	Kombinierte Zug- und Querbeanspruchung im ungerissenen Beton	78
6.3.5	Zugbeanspruchung im gerissenen Beton	78
6.4	Verbunddübel	78
6.4.1	Zugbeanspruchung im ungerissenen Beton	78
6.4.2	Querbeanspruchung im ungerissenen Beton	82
6.4.3	Kombinierte Zug- und Querbeanspruchung im ungerissenen Beton	82
6.4.4	Zugbeanspruchung im gerissenen Beton	82
6.4.5	Querbeanspruchung im gerissenen Beton	84
6.4.6	Kombinierte Zug- und Querbeanspruchung im gerissenen Beton	84
6.5	Risstaugliche Verbunddübel	84
6.5.1	Ungerissener Beton	84
6.5.2	Gerissener Beton	85
6.6	Kunststoffdübel	86
6.6.1	Allgemeines	86
6.6.2	Tragverhalten von Kunststoffdübeln in Beton	87
6.6.3	Tragverhalten von Kunststoffdübeln in Mauerwerk	89
6.7	Injektionsdübel in Mauerwerk	90
6.8	Tragverhalten unter Brandbeanspruchung	92
6.8.1	Allgemeines	92
6.8.2	Grundlagen	92
6.8.3	Gültigkeitsbereich	93
6.8.4	Versagensarten	93
6.8.4.1	Allgemeines	93
6.8.4.2	Stahlversagen	94
6.8.4.3	Betonversagen	94
6.8.4.4	Herausziehen	95
6.9	Ermüdungsrelevante (dynamische) Einwirkungen	96
6.9.1	Allgemeines	96
6.9.2	Grundlagen	96
6.9.3	Versagen der Einzeldübel	99
6.9.3.1	Allgemeines	99
6.9.3.2	Stahlversagen unter Zuglast	99
6.9.3.3	Stahlversagen unter Querlast	100
6.9.3.4	Betonversagen unter Zuglast	100
6.9.3.5	Vorspannung unter Zuglast	100
6.9.4	Versagen von Gruppenbefestigungen	101
6.9.5	Versuchsergebnisse einzelner Dübel	102
7	Sonderbefestigungen	104
7.1	Befestigung von Markisen	104
7.1.1	Allgemeines	104
7.1.2	Hinweise in der Norm auf die Befestigungstechnik	104
7.1.3	Vorhandene Richtlinien	104

7.1.4	Anforderungen an die Dübelsysteme, insbesondere Korrosionsschutz	105
7.1.5	Berechnungsgrundlagen für die am Dübel angreifende Last	105
7.1.6	Berechnungsbeispiel	106
7.1.7	Anforderungen an den Monteur	107
7.1.8	Gedämmte Untergründe	107
7.2	Befestigung von Fassadengerüsten	108
7.2.1	Allgemeines	108
7.2.2	Regelungen	109
7.2.3	Verankerung	109
7.2.4	Alternativen zu langen Ösenschrauben	111
7.2.5	Montage von Dübeln	114
7.3	Direktmontage	114
7.3.1	Ein- und mehrstufiges Befestigungsverfahren	114
7.3.2	Funktionsweise von Bolzenschubgeräten	115
7.3.3	Tragverhalten im ungerissenen Beton	117
7.3.4	Tragverhalten im gerissenen Beton	118
7.3.5	Montage und Anwendungsbedingungen	119
7.3.6	Schubbolzentypen	120
7.4	Eingemörtelte Bewehrungsstäbe	121
7.4.1	Allgemeines	121
7.4.2	Injektionsmörtel und Montage	123
7.4.3	Tragverhalten	125
7.4.4	Voraussetzungen für die Verwendung	127
7.4.5	Bemessung	129
7.5	Befestigungen im Kernkraftwerksbau	130
7.5.1	Allgemeines	130
7.5.2	Anforderungskategorien	131
7.5.2.1	Anforderungskategorie A1	131
7.5.2.2	Anforderungskategorie A2	131
7.5.2.3	Anforderungskategorie A3	132
7.5.3	Empfehlungen zur Montage, die auch vom Tragwerksplaner zu beachten sind	132
8	Aspekte bei der Dübelauswahl	135
8.1	Allgemeines	135
8.2	Bauaufsichtliche Relevanz (Sicherheitsrelevanz)	135
8.3	Verankerungsgrund und Geometrie des Bauteils	136
8.3.1	Allgemeines	136
8.3.2	Verankerungsgrund Beton	137
8.3.3	Verankerungsgrund Mauerwerk	140
8.4	Mindestabmessungen (Rand- und Achsabstände, Bauteildicke)	140
8.5	Einwirkungen	141
8.6	Umgebungsbedingungen: Temperatur	141
8.7	Umgebungsbedingungen: Feuchtigkeit	141
8.8	Umgebungsbedingungen: Korrosion	142
8.9	Montageart	143
8.10	Wirtschaftlichkeit	143
9	Grundlagen der Bemessung	144
9.1	Regelungen	144
9.1.1	Allgemeines	144
9.1.2	Bauaufsichtlich relevante Produkte	145
9.1.3	Dübel	146
9.1.4	Europäische Harmonisierung	146
9.1.5	Zulassungsinhalte	147

9.1.6	Anwendung der Regelungen in der Befestigungstechnik	148
9.2	Einzel- oder Mehrfachbefestigungen (redundante Systeme)	149
9.2.1	Allgemeines	149
9.2.2	Einzelbefestigungen	150
9.2.3	Mehrfachbefestigungen	150
9.3	Nachweiskonzepte	151
9.3.1	Grenzzustand der Tragfähigkeit	151
9.3.2	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	152
9.4	Bemessungskonzepte	152
9.4.1	Allgemeines	152
9.4.2	Bemessung mit globalem Sicherheitsbeiwert	154
9.4.3	Bemessung mit Teilsicherheitsbeiwerten	155
9.5	Bemessungsverfahren für Befestigungsmittel in Beton	157
9.5.1	Allgemeines	157
9.5.2	Verfahren	159
9.5.3	Nachweise	160
9.6	Bemessungsverfahren für Kunststoffdübel	161
9.6.1	Allgemeines	161
9.6.2	Kunststoff-Rahmendübel mit abZ zur Befestigung von Fassadenbekleidungen	161
9.6.2.1	Grundlagen	161
9.6.2.2	Bestimmung der zulässigen Lasten durch Versuche am Bauwerk	163
9.6.3	Kunststoffdübel mit ETA als Mehrfachbefestigung von nichttragenden Systemen	165
9.6.3.1	Anwendungsbereich (Verwendungszweck)	165
9.6.3.2	Verankerungsgründe	166
9.6.3.3	Temperaturen bei der Montage und während der Nutzung	167
9.6.3.4	Bemessung mit charakteristischen Tragfähigkeiten	168
9.6.3.5	Bestimmung der charakteristischen Tragfähigkeit durch Versuche am Bauwerk	169
9.7	Bemessungsverfahren für Injektionssysteme in Mauerwerk	170
9.7.1	Injektionssysteme mit abZ zur Verankerung in Mauerwerk und Porenbeton	170
9.7.2	Injektionssysteme mit europäischer technischer Zulassung	172
9.7.2.1	Allgemeines	172
9.7.2.2	Anwendungsbereich	172
9.7.2.3	Bestimmung der charakteristischen Tragfähigkeit durch Versuche am Bauwerk	173
9.7.2.3.1	Allgemeines	173
9.7.2.3.2	Montage	174
9.7.2.3.3	Auszugversuche	174
9.7.2.3.4	Probelastung	174
9.7.2.3.5	Prüfbericht	175
9.8	Ermüdungsrelevante (dynamische) Einwirkungen	175
10	Bemessung von Verankerungen	178
10.1	Allgemeines	178
10.2	Bemessung nach dem κ -Verfahren	180
10.3	Metalldübel und Verbunddübel zur Verankerung in Beton	180
10.3.1	Bemessungsverfahren für Metalldübel in Beton nach ETAG 001, Anhang C	180
10.3.1.1	Allgemeines	180
10.3.1.2	Gerissener und ungerissener Beton	182
10.3.1.3	Lasteinwirkungen auf den Dübel	183
10.3.1.3.1	Zuglasten	183
10.3.1.3.2	Querlasten	184
10.3.1.4	(Material-)Teilsicherheitsbeiwerte	186
10.3.1.5	Ermittlung der Widerstände	188
10.3.1.5.1	Zugbeanspruchung	188

10.3.1.5.1.1	Stahlversagen	188
10.3.1.5.1.2	Herausziehen	188
10.3.1.5.1.3	Betonausbruch	189
10.3.1.5.1.4	Spalten	191
10.3.1.5.2	Querbeanspruchung	193
10.3.1.5.2.1	Stahlversagen	193
10.3.1.5.2.2	Betonausbruch auf der lastabgewandten Seite (Pry-out)	195
10.3.1.5.2.3	Betankantenbruch	197
10.3.1.5.3	Kombinierte Zug- und Querbeanspruchung	200
10.3.1.6	Zusätzliche Nachweise zur Sicherung der charakteristischen Bauteiltragfähigkeit	201
10.3.1.6.1	Quertragfähigkeit des Betonbauteils	201
10.3.1.6.2	Widerstand gegen Spaltkräfte	203
10.3.1.7	Beispiel	204
10.3.1.7.1	Aufgabenstellung	204
10.3.1.7.2	Ermittlung der Widerstände	205
10.3.1.7.3	Nachweise	206
10.3.2	Bemessung von Verbunddübeln nach EOTA Technical Report TR 029	208
10.3.2.1	Allgemeines	208
10.3.2.2	Gerissener und ungerissener Beton	209
10.3.2.3	Lasteinwirkungen auf den Dübel	209
10.3.2.3.1	Zuglasten	209
10.3.2.3.2	Querlasten	209
10.3.2.4	Teilsicherheitsbeiwerte	209
10.3.2.5	Ermittlung der Widerstände	210
10.3.2.5.1	Zugbeanspruchung	210
10.3.2.5.1.1	Stahlversagen	210
10.3.2.5.1.2	Kombiniertes Versagen durch Herausziehen und Betonausbruch	210
10.3.2.5.1.3	Betonausbruch	214
10.3.2.5.1.4	Spalten	214
10.3.2.5.2	Querbeanspruchung	215
10.3.2.5.2.1	Stahlversagen	215
10.3.2.5.2.2	Betonausbruch auf der lastabgewandten Seite (Pry-out)	215
10.3.2.5.2.3	Betankantenbruch	215
10.3.2.5.3	Kombinierte Zug- und Querbeanspruchung	216
10.3.2.6	Zusätzliche Nachweise zur Sicherung der charakteristischen Bauteiltragfähigkeit	216
10.3.2.6.1	Quertragfähigkeit des Betonbauteils	216
10.3.2.6.2	Widerstand gegen Spaltkräfte	216
10.3.3	Bemessung nach CEN/TS 1992-4	217
10.3.3.1	Allgemeines	217
10.3.3.1.1	Anwendungsbereich	217
10.3.3.2	Gerissener und ungerissener Beton	219
10.3.3.3	Lasteinwirkungen auf die Befestigungsmittel	220
10.3.3.3.1	Zugbelastung	220
10.3.3.3.2	Querbeltung	220
10.3.3.4	(Material-)Teilsicherheitsbeiwerte	223
10.3.3.5	Ermittlung der Widerstände	223
10.3.3.5.1	Zugbeanspruchung	223
10.3.3.5.1.1	Stahlversagen	223
10.3.3.5.1.2	Herausziehen	224
10.3.3.5.1.3	Kombiniertes Herausziehen und Betonausbruch (nur für Verbunddübel)	224
10.3.3.5.1.4	Kegelförmiger Betonausbruch	226
10.3.3.5.1.5	Spalten	226

10.3.3.5.1.6	Einfluss eines schmalen Bauteils	227
10.3.3.5.2	Querbeanspruchung	228
10.3.3.5.2.1	Stahlversagen	228
10.3.3.5.2.2	Rückwärtiger Betonausbruch (Pry-out)	228
10.3.3.5.2.3	Betankantenbruch	229
10.3.3.5.2.4	Einfluss eines schmalen und dünnen Bauteils	230
10.3.3.5.3	Kombinierte Zug- und Querbeltung	231
10.3.3.6	Nachweis der Tragfähigkeit des Betonbauteils	231
10.3.3.6.1	Quertragfähigkeit	231
10.3.3.6.2	Spalten	232
10.3.3.7	Nachweis der Dauerhaftigkeit	232
10.3.3.8	Nachweis unter Erdbebenbeanspruchung	233
10.4	Bemessung von Kunststoffdübeln nach ETAG 020, Anhang C	235
10.4.1	Allgemeines	235
10.4.2	Lastannahmen	235
10.4.3	Teilsicherheitsbeiwerte	235
10.4.4	Verankerung von Kunststoffdübeln in Beton	236
10.4.4.1	Ermittlung des Widerstands	236
10.4.4.1.1	Zugbeanspruchung	236
10.4.4.1.1.1	Versagen des Spreizelements	236
10.4.4.1.1.2	Versagen durch Herausziehen	236
10.4.4.1.1.3	Versagen durch Betonausbruch	237
10.4.4.1.2	Querbeanspruchung	237
10.4.4.1.2.1	Versagen des Spreizelements, Querlast ohne Hebelarm	237
10.4.4.1.2.2	Versagen des Spreizelements, Querlast mit Hebelarm	237
10.4.4.1.2.3	Versagen durch Betankantenbruch	238
10.4.4.1.3	Kombinierte Zug- und Querbeltung	238
10.4.5	Verankerung von Kunststoffdübeln in Mauerwerk und Porenbeton	239
10.4.5.1	Allgemeines	239
10.4.5.2	Tragfähigkeit im Mauerwerk aus Vollsteinen (Nutzungskategorie „b“)	239
10.4.5.3	Tragfähigkeit im Mauerwerk aus Hohlblöcken oder Lochsteinen (Nutzungskategorie „c“)	239
10.4.5.4	Tragfähigkeit in Porenbeton (Nutzungskategorie „d“)	239
10.4.5.5	Verankerungen in Fugen (für Nutzungskategorie b, c und d)	240
10.4.6	Beispiele	241
10.4.6.1	Beispiel 1: Verankerung in einer Betondecke (Außenbereich)	241
10.4.6.1.1	Nachweis des Grenzzustands der Tragfähigkeit	241
10.4.6.1.2	Nachweis der Gebrauchstauglichkeit	242
10.4.6.2	Beispiel 2: Verankerung in einer Gebäudeinnenwand	242
10.4.6.2.1	Nachweis des Grenzzustands der Tragfähigkeit	243
10.4.6.2.2	Nachweis des Grenzzustands der Gebrauchstauglichkeit	244
10.4.6.3	Beispiel 3: Verankerung in einer HLz-Außenwand	244
10.4.6.3.1	Nachweis des Grenzzustands der Tragfähigkeit	245
10.4.6.3.2	Nachweis des Grenzzustands der Gebrauchstauglichkeit	246
10.5	Bemessung für Metall-Injektionsdübel in Mauerwerk nach ETAG 029, Anhang C	247
10.5.1	Allgemeines	247
10.5.2	Lasteinwirkungen auf die Dübel	247
10.5.3	Teilsicherheitsbeiwerte für Widerstände	247
10.5.4	Ermittlung des Widerstands	248
10.5.4.1	Zugbeanspruchung	248
10.5.4.1.1	Stahlversagen	249
10.5.4.1.2	Versagen durch Herausziehen	249
10.5.4.1.3	Versagen durch Ausbruch des Mauerwerks	249

Inhaltsverzeichnis

10.5.4.1.4	Herausziehen eines Steins	250
10.5.4.1.5	Fugeneinfluss	250
10.5.4.2	Querbeanspruchung	251
10.5.4.2.1	Versagen des Befestigungselements, Querlast ohne Hebelarm	251
10.5.4.2.2	Versagen des Befestigungselements, Querlast mit Hebelarm	251
10.5.4.2.3	Lokales Steinversagen	251
10.5.4.2.4	Steinkantenbruch	251
10.5.4.2.5	Kombinierte Zug- und Querbeanspruchung	252
10.5.5	Beispiel	252
10.5.5.1	Beispiel einer Zweifachbefestigung mit Verbunddübeln in Mauerwerk	254
10.5.5.2	Nachweis des Grenzzustands der Gebrauchstauglichkeit	255
10.6	Bemessung unter Brandbeanspruchung	256
10.6.1	Allgemeines	256
10.6.2	Vereinfachtes Verfahren	257
10.6.2.1	Versagensart Stahlversagen	257
10.6.2.2	Versagensart Herausziehen	258
10.6.2.3	Versagensart Betonausbruch	258
10.6.2.4	Betonausbruch auf der lastabgewandten Seite (Pry-out)	258
10.6.2.5	Versagensart Betonkantenbruch	259
10.6.3	Detailliertes Verfahren	259
10.6.4	Beispiel	259
10.7	Bemessung unter ermüdungsrelevanten (dynamischen) Belastungen	261
10.7.1	Allgemeines	261
10.7.2	Ermittlung des Widerstands	261
10.7.3	Bemessungsverfahren I	261
10.7.4	Bemessungsverfahren II	262
10.8	Bemessung von eingemörtelten Bewehrungsstäben nach DIN EN 1992-1-1	263
10.8.1	Stahlbruch	263
10.8.2	Herausziehen	263
10.8.2.1	Allgemeines	263
10.8.2.2	Verankerungslänge	264
10.8.2.3	Übergreifungslängen von Bewehrungsstäben	264
11	Fehlanwendungen und Schadensfälle	266
12	Wirtschaftliche Befestigungen	269
13	Haftungsfragen	271
14	Zertifizierter Befestigungstechniker	273
14.1	Einbau durch entsprechend geschultes Personal unter Aufsicht des Bauleiters	273
14.2	Inhalte	273
14.3	Einwirkungen	274
14.4	Untergründe	274
14.5	Montage und Funktion	275
14.6	Regelungen/Inhalte der Zulassungen	275
14.7	Praktische Versuche	276
14.8	Abschluss	277
15	Literatur	279
16	Formelzeichen	284
16.1	Indizes	284
16.2	Einwirkungen und Widerstände	285
16.3	Beton und Stahl	285
16.4	Befestigungsmittel und Befestigungen	286
	Notizen	287
	Impressum	288

Inhaltsübersicht

Einleitung	01
Anwendungen mit Befestigungsmitteln	02
Verankerungsgrund	03
Einwirkungen	04
Montage und Funktion	05
Tragverhalten von Dübeln	06
Sonderbefestigungen	07
Aspekte bei der Dübelauswahl	08
Grundlagen der Bemessung	09
Bemessung von Verankerungen	10
Fehlanwendungen und Schadensfälle	11
Wirtschaftliche Befestigungen	12
Haftungsfragen	13
Zertifizierter Befestigungstechniker	14
Literatur	15
Formelzeichen	16

1 Einleitung

01

Die Forderung nach mehr Flexibilität in Planung und Entwurf und nach einfachen Mitteln zur Durchführung von Verstärkungsmaßnahmen von Bauwerken ist so alt wie das Bauen selbst. Die Befestigungstechnik spielte dabei immer eine wichtige Rolle.

Der gerade in den beiden letzten Jahrzehnten zunehmende Druck, die Bauzeiten entscheidend zu reduzieren, hat zu einer rasanten Entwicklung in der Befestigungstechnik und verstärkten Verwendung von Dübeln für die Einleitung hoher und konzentrierter Lasten in Bauwerke aus Beton und Mauerwerk geführt. Die Würth-Dübeltechnik hat sich den Anforderungen nach schnellem, flexiblem, sicherem und wirtschaftlichem Bauen mit der Entwicklung und Vermarktung innovativer und qualitativ hochwertiger Dübelssysteme gestellt. Verschiedenste Typen von Metallspreiz- und Hinterschnittdübeln sowie chemischen Befestigungssystemen mit durch Zulassungsbescheide nachgewiesener Leistungsfähigkeit stehen zur Verfügung, um ein großes Lastspektrum in einem weiten Bereich von Befestigungsaufgaben sicher und wirtschaftlich zu lösen. Würth-Dübelssysteme führen zu Vorteilen im Bauablauf und steigern die Produktivität auf der Baustelle.

Die große Produktvielfalt und der stetig wachsende Bereich der Anwendungen erfordern für einen optimalen Einsatz von Befestigungsmitteln von Planern und Anwendern jedoch immer mehr Spezialwissen zur Funktionsweise, Bemessung und Montage.

Dieses Handbuch der Würth-Dübeltechnik soll helfen, Wissensdefizite auf dem Gebiet der Befestigungstechnik zu verringern. Es wendet sich an alle, die sich mit der Planung und Ausführung von Dübelverbindungen beschäftigen. Es soll den Leser in die Lage versetzen, modernste Befestigungstechnik qualifiziert einzusetzen. Dieses Handbuch der Würth-Dübeltechnik gibt einen aktuellen Überblick über den Stand des Wissens in der nachträglichen Befestigungstechnik. Besonderes Augenmerk wird auf das Verständnis der anwendungsbezogenen und wirtschaftlichen Auswahl von Befestigungssystemen gelegt.

2 Anwendungen mit Befestigungsmitteln

2.1 Geschichtliche Entwicklung

In der Vergangenheit haben die Baumeister aus der Erfahrung gelernt und ihre Erfahrungen zum sicheren Bauen an ihre Schüler in mündlicher Form weitergegeben. Das Wissen über stabiles, dauerhaftes und ästhetisch ansprechendes Bauen war jedoch nicht allgemein zugänglich, sondern Eigentum der Baumeister. Schriftliche Regelungen zum Bauen waren nicht vorhanden. Dass es jedoch bereits in Babylonien um das 22. Jahrhundert vor Christus Bauschäden gab, zeigt das Gesetzbuch des Königs Hammurabi. Passagen des in Bild 2.1 gezeigten Gesetzestextes lauten:

§ 229 (A): Wenn ein Baumeister für jemanden ein Haus errichtet, dessen Konstruktion nicht fest genug ist, sodass das Haus einstürzt und den Tod des Bauherrn verursacht, so soll dieser Baumeister getötet werden.

§ 230 (B): Wenn der Einsturz den Tod des Sohnes des Bauherrn zur Folge hat, so soll der Sohn des Baumeisters getötet werden.

§ 231 (C): Hat der Einsturz den Tod eines Sklaven des Bauherrn zur Folge, so soll der Baumeister dem Bauherrn einen gleichwertigen Sklaven zur Verfügung stellen.

§ 231 (D): Wenn durch den Einsturz Eigentum beschädigt wird, so ist der Baumeister verpflichtet, das wieder herzustellen, was zerstört wurde. Da der Einsturz des Hauses durch eine schlechte Konstruktion verursacht wurde, soll er (der Baumeister) dieses auf eigene Kosten wieder herstellen.

§ 232 (E): Wenn ein Baumeister jemandem ein Haus erstellt hat und das Werk fehlerhaft ist, sodass eine Wand einstürzt, so soll der Baumeister auf eigene Kosten die Wand verstärkt wieder errichten.

Das Gesetz enthält bereits eine Beschreibung und gestufte rechtliche Folgerungen aus der Produkthaftung:

- Stürzt ein fehlerhaft errichtetes Haus ein und verursacht einen Personenschaden – tötet den Bauherrn –, so gilt Strafrecht – soll der Baumeister getötet werden.
- Wird beim Einsturz eines Hauses „nur“ ein Sklave getötet – Sklaven galten als Sachen –, so verpflichtet dies den Baumeister zu vollem Schadenersatz, also einem gleichwertigen Sklaven: ziviles Delikts-(Verschuldens-)Recht.
- Entstehen keine Schäden an anderen Sachen – nur eine Wand stürzt ein –, so löst dies eine Pflicht zur Wiedererrichtung der eingestürzten Wand aus: Gewährleistung als Teil des Vertragsrechts.

Diese unterschiedlichen Rechtsfolgen von Schäden durch fehlerhafte Produkte gelten auch heute nahezu unverändert.



Bild 2.1: Ausschnitt aus dem Codex Hammurabi



Bild 2.2: Kolosseum, Rom

Im ersten Jahrhundert vor Christus stellte Vitruv mit seinen 10 Büchern über Architektur erste Regelungen zur Stabilität, Dauerhaftigkeit und Ästhetik von Bauwerken im Römischen Reich auf. Dazu ging er auch auf die Befestigungstechnik ein und beschrieb Befestigungslösungen, wie sie beim Bau des Kolosseums in Rom ein-

gesetzt wurden. In Bild 2.2 sind die Dübellöcher für die Befestigung der Verkleidung des Kolosseums gut zu sehen. Befestigungselemente wurden außerdem zur Verbindung der „Fertigteile“ verwendet.

Plutarch (45 – 125 n. Chr.) berichtete aus dem Römischen Reich, dass die Bauunternehmen, die qualitativ hochwertige Bauwerke bei gleichzeitig niedrigsten Kosten und schnellster Bauzeit versprachen, den Zuschlag für die Errichtung eines Bauwerks erhielten. Die Faktoren Qualität, Kosten und Zeit existieren demnach nicht erst seit heute und waren damals schon Gründe für den Einsatz von Befestigungstechnik.

Noch gegen Ende des 19. Jahrhunderts lautete die Denkweise der Baumeister bezüglich der Befestigungstechnik: Mach es so, wie wir es schon immer gemacht haben. Folgerichtig war die Befestigungstechnik oft bis ins 20. Jahrhundert hinein auf eingemörtelte oder einbetonierte Einlegeteile aus Holz, zur Übertragung geringer Lasten, oder Stahl beschränkt. Neue Methoden fanden bis dahin kaum Anwendung.

Diese Kultur musste dem raschen Fortschritt im Zeitalter der Industrialisierung Tribut zollen. Neue Baustoffe wurden entwickelt, künstliche Steine für Mauerwerk wurden industriell produziert und neue Bauweisen wie der Stahlbetonbau entstanden. Dies erforderte neue Befestigungstechniken wie die nachträgliche Dübelmontage, wobei die Vielfalt der Befestigungsmittel bis heute mit der Anzahl der möglichen Anwendungen wuchs.

2.2 Aktuelle Befestigungstechnik

Der wesentliche Vorteil aller Typen von Dübeln oder der Direktmontage mit Setzbolzen ist die nachträgliche Montage an einer „nahezu beliebigen“ Stelle im Bauteil. Dazu ist keine detaillierte Vorplanung erforderlich und Nutzungsänderungen bei Bauwerken lassen sich schnell und einfach bewerkstelligen.

Inzwischen ist es daher eine tägliche Aufgabe in der Baupraxis, tragende und nichttragende Konstruktionen an Bauteilen aus Stahlbeton oder Mauerwerk zu befestigen. Neue Untergründe im Beton- und Mauerwerksbau stellen immer wieder neue Anforderungen an die Befestigungstechnik, die sich dieser Aufgabe durch die Entwicklung innovativer Befestigungslösungen erfolgreich stellt.

Bild 2.3 gibt eine Übersicht über heute eingesetzte Befestigungssysteme zur nachträglichen Befestigung im Beton- und Mauerwerksbau.

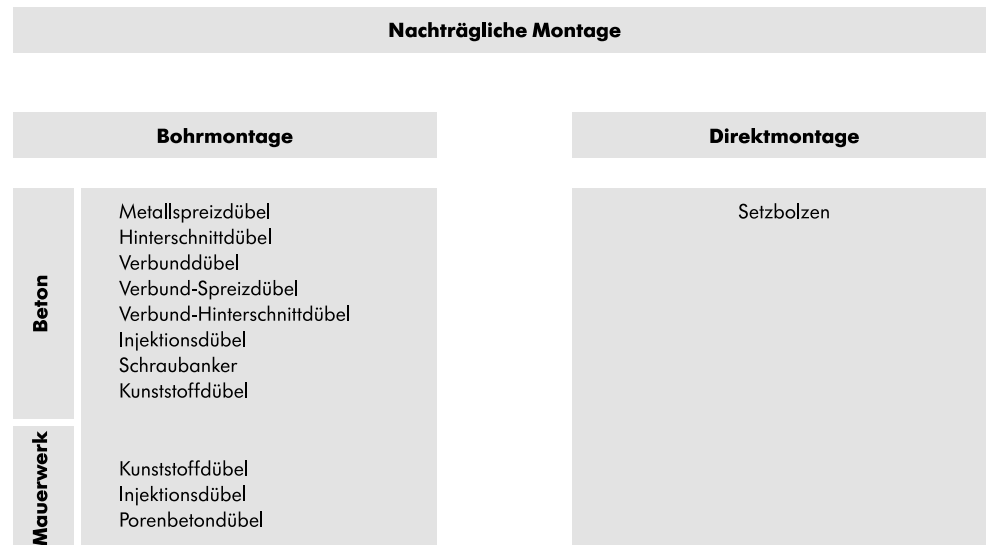


Bild 2.3: Befestigungssysteme für die nachträgliche Montage

Für den Anwender in der Praxis wurde es aufgrund der Vielfalt der Befestigungssysteme immer schwieriger, die richtige Befestigungslösung zu finden und sichere Befestigungen auszuführen. Nach dem verstärkten Auftreten von teilweise schweren Schadensfällen beschäftigten sich Sachverständigenausschüsse beim Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) mit der Befestigungstechnik. Dies führte 1975 zur Erteilung der ersten bauaufsichtlichen Zulassung. Da den bauaufsichtlichen Zulassungsbescheiden dieselben Versuche und Prüfbedingungen zugrunde lagen, konnten Dübelssysteme verschiedener Hersteller untereinander verglichen werden. Zudem wurden die Anwendungsbedingungen genau definiert.

Inzwischen gibt es eine für manchen Anwender kaum überschaubare Anzahl unterschiedlicher Befestigungsmittel, die für bestimmte Anwendungsbereiche entwickelt wurden. Für die sichere und dauerhafte Lasteintragung in den Untergrund stehen heute nahezu für jede Anwendung geeignete Dübelssysteme aus Stahl und Kunststoff zur Verfügung. Sie sind durch ihre unterschiedlichen Wirkungsprinzipien, Werkstoffe und Abmessungen den verschiedensten Anwendungen in Verankerungsgründen aus Stahlbeton und Mauerwerk angepasst. Ihr richtiger Einsatz auf der Baustelle ist sicherzustellen. Hierfür wiederum gibt es eine große Vielfalt von bauaufsichtlichen Zulassungen, die Vorschriften für die Anwendung, Bemessung und Montage der Dübel enthalten.

Für die Wahl eines Befestigungsmittels sollte zunächst folgende Frage beantwortet werden:

Welche Art von Befestigungsmitteln ist am geeignetsten für die Lösung meines Befestigungsproblems?

Die zweite Frage ist:

Wie kann ich die Leistungsfähigkeit des Befestigungsmittels bestmöglich ausnutzen?

Mit diesen Fragestellungen beschäftigen sich im Wesentlichen der Planer und der Ingenieur.

Die beste Dübelauswahl und die sorgfältigste Entwurfsmethode nützen jedoch nichts, wenn das Befestigungsmittel nicht zuverlässig funktioniert oder nicht richtig montiert ist. Die Faktoren, die eine sichere Befestigung gewährleisten, sind in Bild 2.4 zusammengestellt. Weitere Details zur Dübelauswahl enthält Kapitel 10.

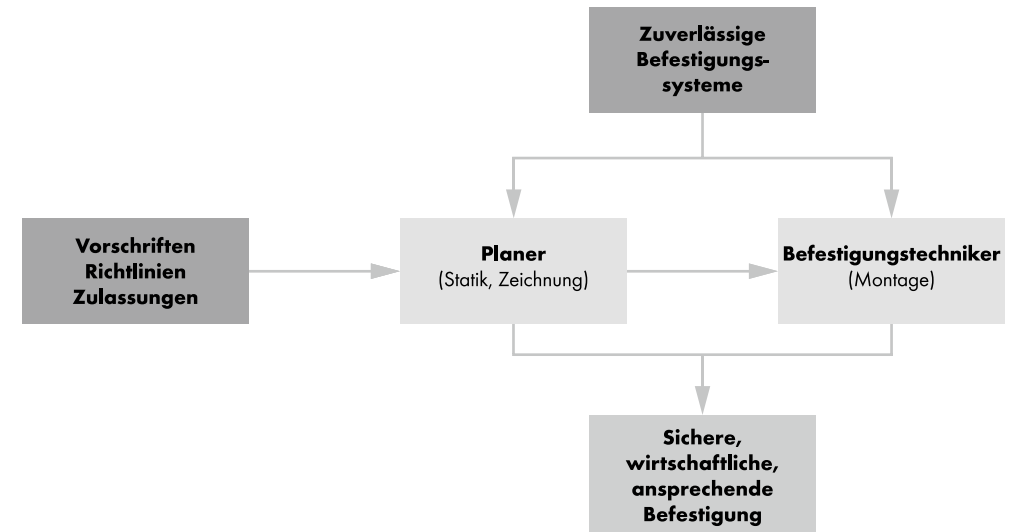


Bild 2.4: Erfolgsfaktoren für sichere Befestigungen mit Dübeln [62]

Die sichere Funktionsweise von Dübeln wird durch die Zulassungsbescheide der bauaufsichtlichen Stellen sowie die Eigen- und Fremdüberwachung beim Hersteller sichergestellt. Zur Sicherstellung der richtigen Montage der Dübel bietet Würth Kurse zum „Zertifizierten Befestigungstechniker“ an, die mit der Prüfung durch eine neutrale Stelle, nämlich durch das Institut für Werkstoffe im Bauwesen (IWB) der Universität Stuttgart, das führende Institut für Befestigungstechnik in Deutschland, abgeschlossen werden.

Es sollte selbstverständlich sein, dass Dübel, die hohe Lasten übertragen sollen und in bauaufsichtlich relevanten (sicherheitsrelevanten) Anwendungen verwendet werden, von erfahrenen Personen geplant und bemessen werden. Nachvollziehbare Berechnungen und Zeichnungen sind zu erstellen. Die Dübelmontage soll durch geschulte und erfahrene Monteure, möglichst „Zertifizierte Befestigungstechniker“, erfolgen. Zuverlässige Verbindungen, basierend auf zuverlässigen Dübeln und rechnerischen Nachweisen, können nur durch die enge Zusammenarbeit der beiden Beteiligten, Planer und Monteur, erreicht werden. Beispiele aus dem breiten Anwendungsbereich für Befestigungsmittel enthalten die Bilder 2.5 bis 2.11. Dabei sollte nie außer Acht gelassen werden, dass die Leistungsfähigkeit einer Verbindung oftmals lebenswichtig für die Gebrauchsfähigkeit und Standfestigkeit eines Gebäudes ist.

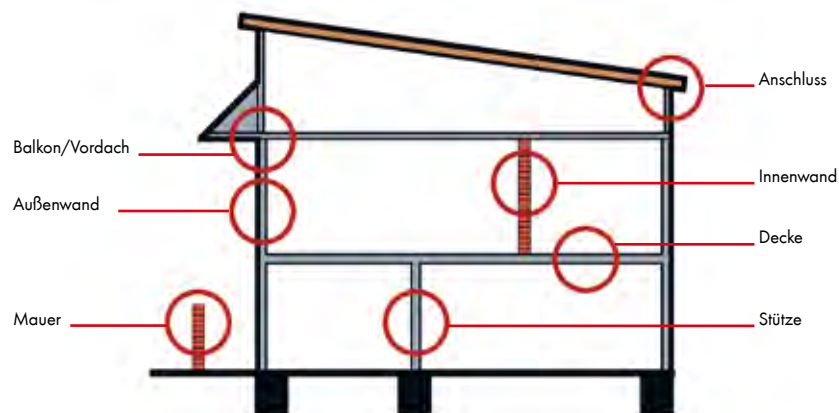


Bild 2.5: Beispiele für Einsatzgebiete von Dübeln im Hochbau

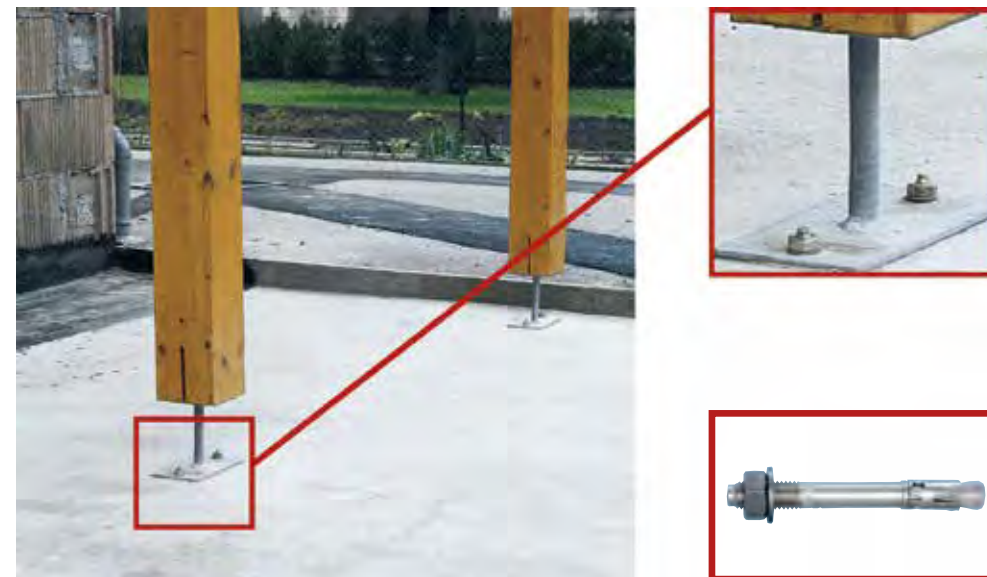


Bild 2.6: Befestigung eines Holzstützenfußes mit dem Würth W-FAZ/A4, M10



Bild 2.7: Befestigung eines Stahlpodests mit dem Würth W-FAZ/A4, M16



Bild 2.8: Befestigung eines Zauns an einer Tiefgaragenausfahrt mit dem Würth W-VIZ/A4, M12

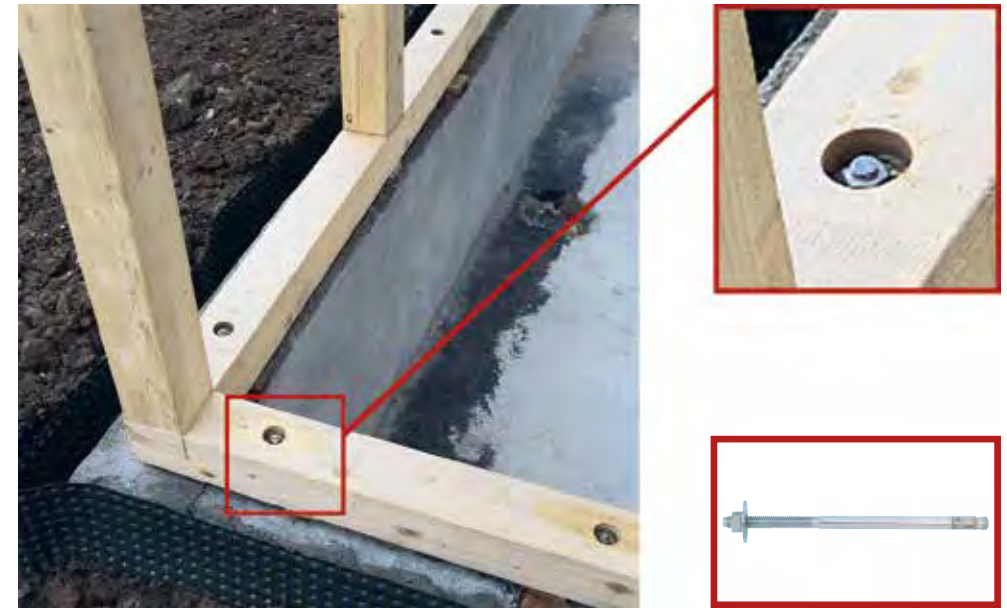


Bild 2.10: Befestigung einer Holzkonstruktion mit dem Würth W-FAZ/S, M10



Bild 2.9: Befestigung eines Vordachs in Mauerwerk mit dem Injektionsdübel Würth WIT-VM200, Ankerstange M12, A4

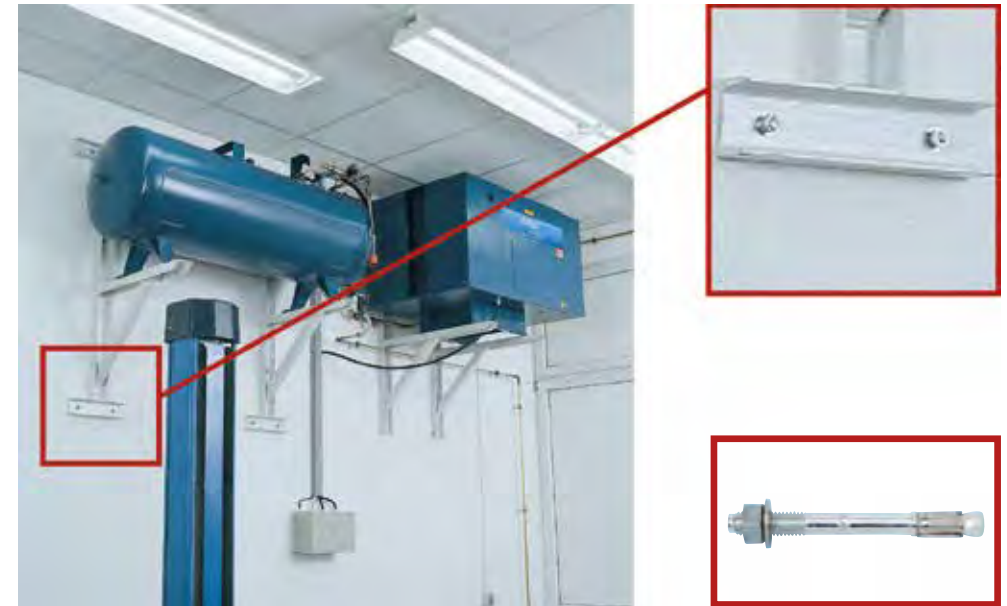


Bild 2.11: Befestigung von Maschinenkonsolen mit dem Würth W-FAZ/S, M12

3 Verankerungsgrund

3.1 Allgemeines

Baustoffe können massiv, porös, sehr hart, sehr weich, gealtert oder neu sein, d.h., sie besitzen stark unterschiedliche Rohdichten und Festigkeiten. Die Art und die Beschaffenheit des als Verankerungsgrund dienenden Baustoffs bestimmen daher die Auswahl des Dübelsystems und sein Tragverhalten maßgeblich. Grundsätzlich sind die Verankerungsgründe Beton, Mauerwerk und Leichtbaustoffe zu unterscheiden (Bild 3.1). Mauerwerk kann aus Vollsteinen und aus Lochsteinen hergestellt werden.

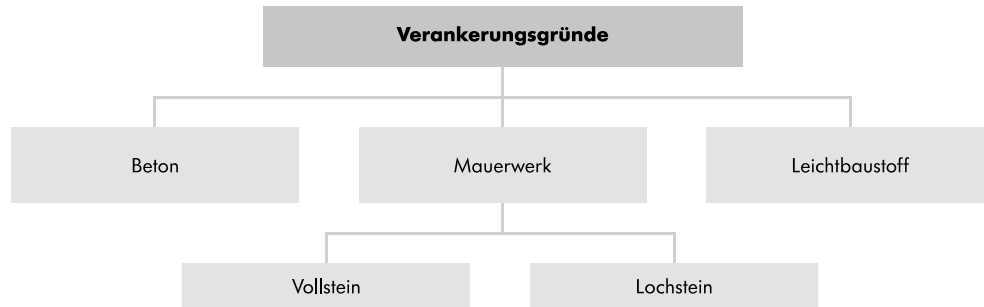


Bild 3.1: Verankerungsgründe

3.2 Beton

3.2.1 Allgemeines

Beton ist ein mineralischer Baustoff und kann als künstliches Gestein betrachtet werden. Er besteht aus einem Gemisch von Zement, Zuschlag und Wasser. Als Zuschlag werden hauptsächlich Sand, Kies und Splitt verwendet. Er wird erst kurz vor dem Einbau in die formgebende Schalung eingebracht. Solange Beton verarbeitbar ist, wird er als Frischbeton und während der Erhärtungsphase als „Junger Beton“ (1 Tag bis 4 Tage) bezeichnet. Nach dem Erstarren und Erhärten des Zementleims wird der Beton zum Festbeton. Dann besitzt er eine hohe Druckfestigkeit und eine im Vergleich dazu geringe Zugfestigkeit (ca. 10 % bis 15 % der Druckfestigkeit). Beton wird nach verschiedenen Gesichtspunkten eingeteilt:

Nach der Rohdichte unterscheidet man

- Leichtbeton: Trockenrohichte 0,8 bis 2,0 kg/dm³,
- Normalbeton: Trockenrohichte 2,0 bis 2,6 kg/dm³ und
- Schwerbeton: Trockenrohichte über 2,6 kg/dm³.

Im Hochbau wird überwiegend Normalbeton eingesetzt.

Nach der Herstellung unterscheidet man

- Baustellenbeton und
- Transportbeton.

Aus Wirtschaftlichkeitsgründen und Aspekten der Qualitätssicherung wird heute auf Baustellen überwiegend Transportbeton eingesetzt (Bild 3.2).

Verankerungsgrund

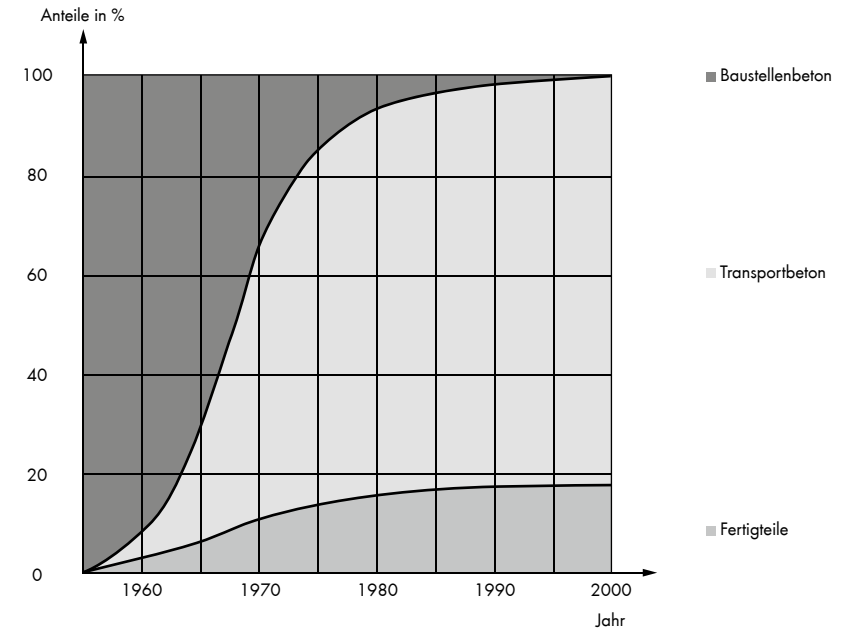


Bild 3.2: Entwicklung des Transportbetons [51]

Je nach Festigkeitsklasse des verwendeten Zements, Beschaffenheit des Zuschlags und des Anmachwassers sowie des Mischungsverhältnisses von Zement, Wasser und Zuschlag ergeben sich unterschiedliche Betoneigenschaften.

3.2.2 Zusammensetzung

3.2.2.1 Zement

Zur Betonherstellung werden heute nahezu ausschließlich Normenzemente z.B. nach DIN EN 197-1 verwendet. Über die Wahl der Zementart lassen sich z.B. die Erhärtungsgeschwindigkeit und der Widerstand des Betons gegen chemische oder Umwelteinflüsse beeinflussen. Für Stahlbetonkonstruktionen im Hochbau kommen vor allem CEM I: Portlandzement und CEM II: Portlandkompositzement zum Einsatz. Normenzemente werden in den Festigkeitsklassen 32,5R, 32,5, 42,5R, 42,5, 52,5R und 52,5 hergestellt. Die Zahlenwerte stehen für die Normenfestigkeit in N/mm² nach 28 Tagen Erhärtungsdauer. Der Buchstabe R weist auf eine schnelle Entwicklung der Frühfestigkeiten hin. Eine höhere Festigkeitsklasse des Zements ergibt eine höhere Endfestigkeit des Betons.

3.2.2.2 Zuschlagstoffe

Als Zuschlagstoffe für Normalbeton werden vorwiegend natürliche Stoffe wie Kies aus Ablagerungen oder gebrochenes Gestein (Schotter, Splitt) verwendet. Für Leichtbeton kommt z.B. Bims und für Schwerbeton z.B. zusätzlich zum Zuschlag für Normalbeton künstlicher Zuschlag wie Eisenkugeln zum Einsatz. Bild 3.3 zeigt Normalzuschläge aus unterschiedlichen Vorkommen.



a) Seine (F) b) Rhein (D) c) Donau (A)

Bild 3.3: Zuschlagstoffe unterschiedlicher Vorkommen für Normalbeton [63]

Der Zuschlag bestimmt wesentlich die Verarbeitbarkeit und Festigkeit des Betons. Durch eine geeignete Abstufung von unterschiedlichen Zuschlagskorngrößen wird eine möglichst dichte Packung der Körner mit wenigen Hohlräumen, in denen sich der Zementleim befindet, angestrebt. Diese Abstufung ist in sogenannten Sieblinien definiert (Bild 3.4). Die dichte Packung ermöglicht die Lastabtragung im Beton über das Korngerüst (Bild 3.5). Im üblichen Hochbau wird die Korngröße nicht größer als 32 mm gewählt.

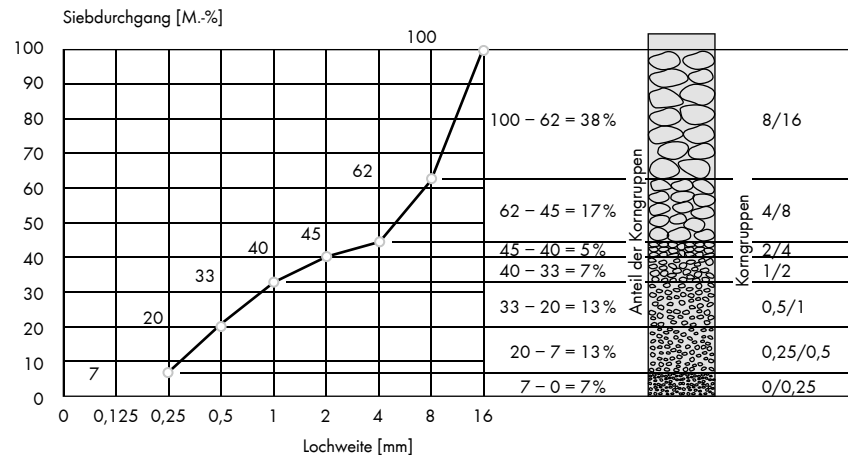


Bild 3.4: Günstige Sieblinie mit einem Größtkorndurchmesser von 16 mm [2]



Bild 3.5: Lastabtragung über das Korngerüst [89]

3.2.2.3 Zugabewasser

Als Zugabewasser für Beton sind alle natürlichen Wasser geeignet, sofern sie keine schädlichen chemischen Bestandteile enthalten, die das Erhärten des Betons beeinflussen oder den Korrosionsschutz der Bewehrung beeinträchtigen könnten.

3.2.3 Wasserzementwert

Der Wasserzementwert (w/z -Wert) ist der entscheidende Parameter für die Betonqualität. Er gibt das Verhältnis von Wasser zu Zement in einer Betonmischung an. Er bestimmt die Dichtigkeit und Festigkeit des Festbetons. Eine Erhöhung des Wasseranteils führt einerseits zu einer besseren Verarbeitbarkeit des Frischbetons. Andererseits stellt sich eine vermehrte Porenbildung und Festigkeitsminderung im Beton ein. Beim Abbinden und Erhärten des Zements wird eine Wassermenge von ca. 40 % des Zementgewichts gebunden ($w/z = 0,4$). Zur Verarbeitung des Betons ist jedoch meist eine größere Wassermenge erforderlich. Dies führt dazu, dass das nichtgebundene Wasser beim Austrocknen aus dem Beton verschwindet, Poren hinterlässt und der Beton sein Volumen verringert (Betonschwinden). Hieraus resultiert die Festigkeitsminderung des Festbetons mit steigendem w/z -Wert. Als praktischer Kompromiss zur Gewährleistung der Verarbeitbarkeit des Betons haben sich w/z -Werte zwischen 0,5 und 0,6 bewährt. Über Betonzusatzmittel lässt sich jedoch erreichen, dass die Verarbeitbarkeit sichergestellt ist, ohne dass der w/z -Wert erhöht werden muss.

3.2.4 Betondruckfestigkeit

Beton wird in den Normen nach der Betondruckfestigkeit klassifiziert. Mit zunehmender Erhärtungsdauer steigt die Betondruckfestigkeit an. Der Abbindeprozess ist bis zu einem Alter von 28 Tagen jedoch zum Großteil abgeschlossen. Die weitere Nacherhärtung wird in der Bemessung im Betonbau nicht in Ansatz gebracht. Die Betondruckfestigkeit wird daher aktuell entweder an Würfeln mit einer Kantenlänge von 150 mm oder an Zylindern mit einem Durchmesser von 150 mm und einer Höhe von 300 mm in einem Betonalter von 28 Tagen gemessen. In Tabelle 3.1 sind die Festigkeitsklassen zusammengefasst. Deutlich wird, dass die Betondruckfestigkeit von der Wahl des Prüfkörpers abhängt: Der Zylinder weist eine geringere Festigkeit auf als der Würfel. In der Praxis werden teilweise auch Prüfkörper mit anderer Geometrie als hier angegeben verwendet. Zur Umrechnung der an diesen Körpern gemessenen Festigkeitswerte auf die Normprüfkörper gibt es Umrechnungsfaktoren.

Festigkeitsklasse	$f_{ck,cyl}$ [N/mm ²]	$f_{ck,cube}$ [N/mm ²]
C8/10	8	10
C12/15	12	15
C16/20	16	20
C20/25	20	25
C25/30	25	30
C30/37	30	37
C35/45	35	45
C40/50	40	50
C45/55	45	55
C50/60	50	60
C55/67	55	67
C60/75	60	75
C70/85	70	85
C80/95	80	95
C90/105 ¹⁾	90	105
C100/115 ¹⁾	100	115

¹⁾ Für Beton der Festigkeitsklassen C90/105 und C100/115 bedarf es weiterer auf den Verwendungszweck abgestimmter Nachweise.

Tabelle 3.1: Betonfestigkeitsklassen nach DIN EN 206-1 [32]

Die Zulassungsbescheide für Befestigungsmittel geben Lastwerte für Betone im Alter von mindestens 28 Tagen an. Zulassungsbescheide für die Anwendung von Verbund- und Kunststoffdübeln in Beton gelten im Allgemeinen für den Festigkeitsbereich von C12/15 bis C50/60, Zulassungsbescheide für Metallspreiz- und Hinterschnittdübel für den Bereich von C20/25 bis C50/60. Da Befestigungsmittel jedoch zur Kraftübertragung planmäßig die Zugfestigkeit des Betons ausnutzen und sich die Betonzugfestigkeit langsamer entwickelt als die Betondruckfestigkeit, sollten Befestigungsmittel nicht in Beton eingesetzt werden, der jünger ist als 28 Tage, selbst wenn die nach Zulassung geforderte Mindestdruckfestigkeit bereits erreicht ist.

3.2.5 Stahlbeton

Die Randbedingungen für die Bemessung, Konstruktion, Herstellung und Ausführung von Betontragwerken sind in DIN 1045-1 festgelegt. Bild 3.6a zeigt die Untergliederung. Diese Norm ist seit dem 1. Juli 2012 nur noch für Verankerungen im Bestand relevant. Zu diesem Stichtag wurde DIN 1045-1 durch DIN EN 1992 ersetzt (Eurocode 2 – vgl. Untergliederung in Bild 3.6b).



Bild 3.6a: Gliederung DIN 1045 [22]

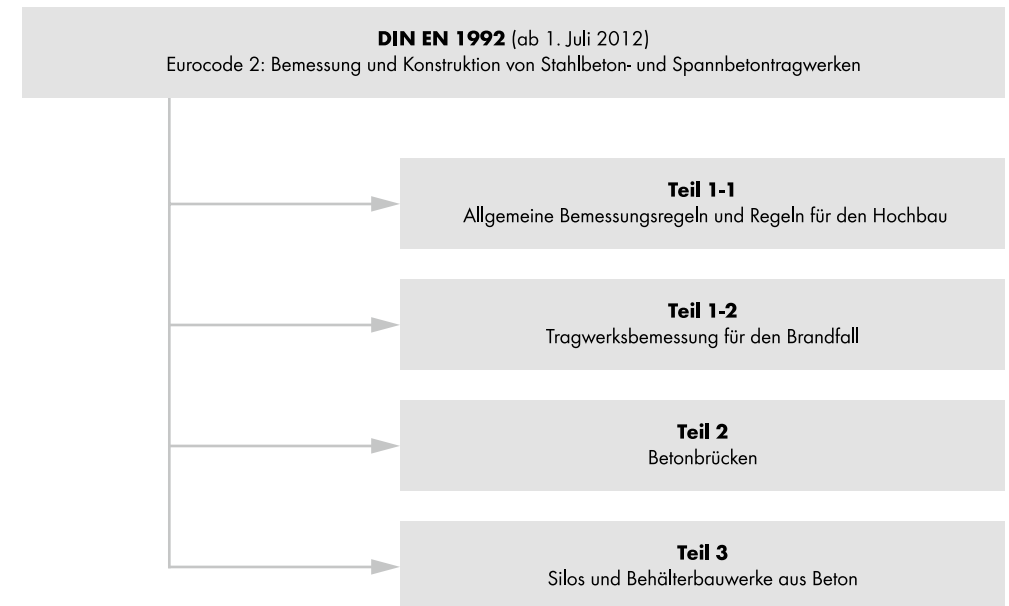


Bild 3.6b: Gliederung DIN EN 1992 [29]

Befestigungsmittel nutzen zur Lastübertragung die Zugtragfähigkeit des Betons aus. Allerdings ist die Zugfestigkeit von Beton mit ca. 10% des Werts der Betondruckfestigkeit sehr gering. Daher kommt unbewehrter Beton in der Praxis als Konstruktionsbeton sehr selten vor. Üblicherweise werden Stahlbetonkonstruktionen eingesetzt. Das Grundprinzip ist in Bild 3.7 an einem Balken, der an den Enden aufgelagert ist, dargestellt. Unter Last bilden sich eine Betondruck- und eine Betonzugzone aus. Ohne Bewehrung (Stahleinlagen) würde der Balken bereits bei Überschreiten der Betonzugfestigkeit versagen. Bei einem bewehrten Balken übernimmt die Bewehrung durch Verbund zwischen Stahl und Beton nach der Rissbildung des Betons die Zuglast. Unter Gebrauchslast beträgt die Rissbreite für ein nach DIN 1045-1 oder DIN EN 1992 bemessenes Stahlbetonbauteil bis zu ca. 0,4 mm. Es ist daher vereinfacht davon auszugehen, dass dort, wo sich Bewehrung befindet, eine Betonzugzone und damit gerissener Beton vorliegt.

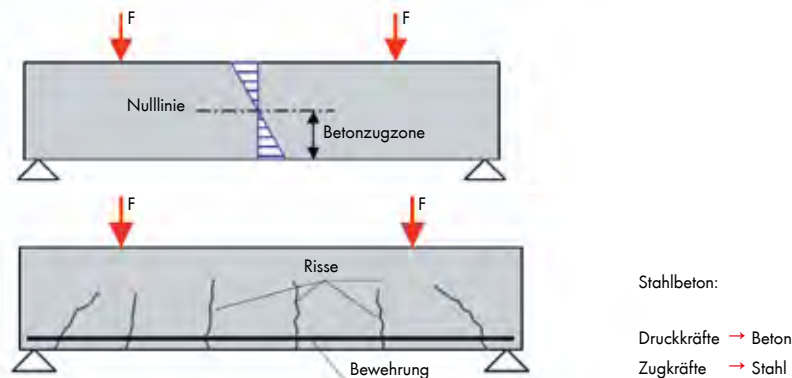


Bild 3.7: Grundprinzip des Stahlbetonbaus

Risse entstehen jedoch nicht nur durch Belastung von Betonbauteilen. Sie können z. B. auch an der Betonoberfläche durch zu schnelles Austrocknen, durch Wärmedehnung infolge von Abkühlung und Erwärmung (Sonneneinstrahlung), Bauwerkssetzungen usw. verursacht werden. Da Risse das Tragverhalten von Befestigungsmitteln maßgeblich beeinflussen, sollte im Allgemeinen von Verankerungen im gerissenen Beton ausgegangen werden.

3.3 Mauerwerk

Unter Mauerwerk versteht man alle aus natürlichen oder künstlichen Steinen hergestellten Bauteile, bei denen die Steine in einem Verband übereinander geschichtet sind. Dabei können die Fugen mit Mörtel verfüllt sein. Das Verlegen im Mörtelbett gewährleistet eine optimale Ausnutzung der Druckfestigkeit der Steine. Der Mörtel gleicht Steinunebenheiten aus und sorgt auf diese Weise für eine vollflächige Druckübertragung zwischen den Steinen. Bei Mauerwerk aus künstlichen Steinen sind die Mörtelfugen im Allgemeinen ca. 10 bis 12 mm dick. Steine mit planparallelen Oberflächen benötigen keine dicke Ausgleichsschicht zur vollflächigen Lastübertragung und können verklebt werden.

Horizontale Fugen werden als Lagerfugen, vertikale Fugen als Stoßfugen bezeichnet (Bild 3.8). Lagerfugen sind üblicherweise vermörtelt. Bei Stoßfugen hingegen sind die Steine häufig nur gegeneinander gestoßen und nicht vermörtelt. Deshalb darf in Stoßfugen i. A. nicht mit Dübeln befestigt werden, bei Lagerfugen sind die Einschränkungen der jeweiligen Zulassungsbescheide zu beachten.

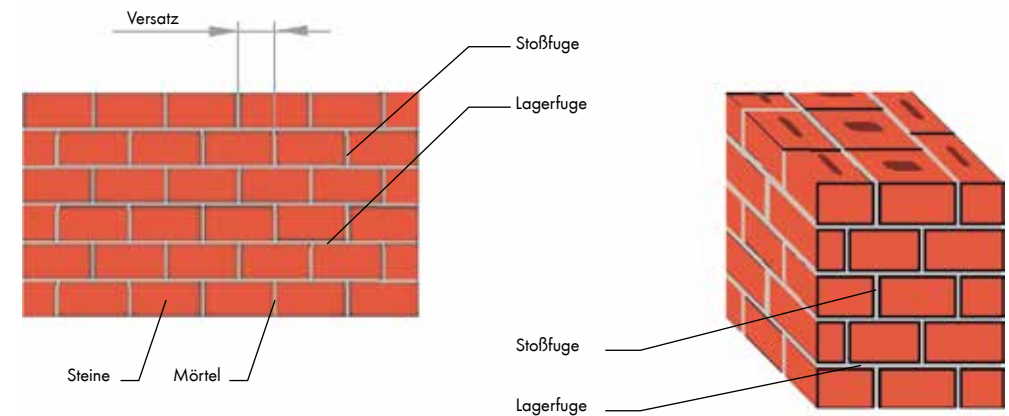


Bild 3.8: Gemauerte Wand mit Fugen

Weiterhin ist zu beachten, dass Wandputz (Bild 3.9) oder Dämmschichten nichttragende Schichten für den Dübel darstellen. Daher ist die Dicke der nichttragenden Schicht bei der Festlegung der Nutzlänge stets zu berücksichtigen.

Dübel mit hohen lokalen Spreizkräften sind zur Verankerung in Mauerwerk nicht geeignet. Die Steine werden sonst aufgrund ihrer vergleichsweise geringen Abmessungen bereits während des Montagevorgangs gespalten. Deshalb kommen hier spreizdruckarme Systeme wie Kunststoffdübel oder Injektionsdübel zum Einsatz.



Bild 3.9: Gemauerte Wand mit Außen- und Innenputz



Bild 3.10: Poroton S11 mit CE-Kennzeichnung nach DIN EN 771 und bauaufsichtlicher Zulassung

3.3.1 Natürliche Steine

Gefüge und Festigkeit von natürlichen Steinen streuen sehr stark. Daher existieren für den Einsatz von Dübeln in Mauern aus natürlichen Steinen keine bauaufsichtlichen Zulassungen. Sind dennoch nachträgliche Befestigungen in Mauerwerk aus natürlichen Steinen zu erstellen, muss das Tragverhalten der Befestigungselemente durch Auszugsversuche am Bauteil ermittelt und durch einen Sachverständigen die zulässige Traglast abgeleitet werden.

3.3.2 Künstliche Steine

Künstliche Steine sind in der Festigkeit, den Abmessungen sowie der Geometrie der Löcher und Stege zum Teil in nationalen DIN-Normen (seit April 2006 „Restnormen“, beispielsweise DIN V 105-100 für Mauerziegel) festgelegt. Wird der zugehörige Mörtel nach DIN verwendet, lässt sich ein definiertes Mauerwerk herstellen. Dieses bietet für den Dübel einen definierten Untergrund. Für solche Untergründe mit DIN-Steinen werden Befestigungen in Deutschland allgemein bauaufsichtlich zugelassen.

Daneben existieren Steine in einer großen Formvielfalt, die beispielsweise bauaufsichtlich zugelassen sind bzw. über eine CE-Kennzeichnung nach der europäischen Norm EN 771 (deutsche Sprachfassung: DIN EN 771 [33]) verfügen und somit nicht den nationalen DIN-Normen entsprechen. Für Befestigungen in diesen Steinen geben in Deutschland die allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen für Dübel keine Lastwerte an. In europäischen technischen Zulassungen können CE-gekennzeichnete Steine nach DIN EN 771 integriert werden (Bild 3.10). Werden solche Steine im Rahmen des Zulassungsverfahrens geprüft, können die Zulassungsbescheide Lastwerte für diese Steine enthalten.

Die Rohdichte der Steine beträgt etwa zwischen $0,4 \text{ kg/dm}^3$ und $2,0 \text{ kg/dm}^3$. Hohe Druckfestigkeiten sind i. A. nur bei Steinen mit hoher Rohdichte zu erreichen. Demgegenüber werden gute Wärmedämmeigenschaften und ein geringes Steingewicht zur besseren Verarbeitung nur bei niedriger Rohdichte erreicht. Diese Steine weisen dann wiederum ein kleineres Wärmespeichervermögen und schlechtere Schalldämmeigenschaften auf. Bild 3.11 gibt einen Überblick über die im Bestand vorhandenen Steine, die bis April 2006 nach nationalen DIN-Normen produziert wurden. Im April 2006 wurde im Rahmen der europäischen Harmonisierung die DIN EN 771 bauaufsichtlich eingeführt. Tabelle 3.2 gibt einen Überblick über die geltenden Normen im Bereich der Steine seit April 2006. Die Steine lassen sich nach der Herstellungsart und nach der Ausbildung in Voll- und Lochsteine unterscheiden.

Mauerziegel werden aus Ton oder Lehm geformt und anschließend bei Temperaturen zwischen ca. 800°C und 1000°C gebrannt. Durch den Brennvorgang lassen sich die Eigenschaften der Steine beeinflussen.

Kalksandsteine und Betonsteine sind durch Bindemittel hydraulisch gebunden. Sie werden mit Kalk bzw. Zement als Bindemittel, Wasser und diversen Zuschlägen (z. B. Sand) durch Pressen und Dampfhärten hergestellt.



¹⁾ Allgemeine bauaufsichtliche Dübelzulassungen gelten nur für DIN-Steine

Bild 3.11: Künstliche Steine für Mauerwerk nach nationalen DIN-Normen

Europäische Normung	Deutsche Normung	
(DIN) EN 771	DIN V 20000 „Anwendungsnormen“ bzw. „Verwendungsregeln“	„Restnormen“
Teil 1: Mauerziegel	Teil 401: Regeln für die Verwendung von Mauerziegeln nach DIN EN 771-1	DIN 105-100: Mauerziegel mit besonderen Eigenschaften
Teil 2: Kalksandsteine	Teil 402: Regeln für die Verwendung von Kalksandsteinen nach DIN EN 771-2	DIN V 106: Kalksandsteine mit besonderen Eigenschaften
Teil 3: Betonsteine	Teil 403: Regeln für die Verwendung von Mauersteinen aus Beton nach DIN EN 771-3	DIN V 4165-100: Porenbetonsteine mit besonderen Eigenschaften
Teil 4: Porenbetonsteine	Teil 404: Regeln für die Verwendung von Porenbetonsteinen nach DIN EN 771-4	DIN V 18151-100: Hohlblöcke aus Leichtbeton mit besonderen Eigenschaften DIN V 18152-100: Vollsteine und Vollblöcke aus Leichtbeton mit besonderen Eigenschaften DIN V 18153-100: Mauersteine aus Beton (Normalbeton) mit besonderen Eigenschaften
Legt Regeln und Prüfverfahren fest, wie die Kennzeichnung von Produkteigenschaften wie beispielsweise Maßabweichungen, Festigkeit und Rohdichte zu erfolgen hat.	Festlegung, wie die Angaben nach DIN EN 771 auf die technischen Regeln für Planung, Bemessung und Konstruktion von baulichen Anlagen und ihren Teilen anzuwenden sind. Dazu sind Umrechnungsregeln enthalten. Nach diesen Regeln können aus deklarierten Werten gemäß der DIN EN 771 die für die Anwendung in Deutschland geltenden Bemessungswerte berechnet werden. So regelt beispielsweise der Teil 401, wie nach DIN EN 771-1 CE-gekennzeichnete Mauerziegel für Mauerwerk nach DIN 1053-1, an das Anforderungen hinsichtlich der Standsicherheit, des Wärme-, Schall- und Brandschutzes gestellt werden, verwendet werden können.	Die DIN EN 771 enthält nicht alle notwendigen Angaben, um CE-gekennzeichnete Steine in Mauerwerk nach DIN 1053-1, DIN 1053-3, DIN 1053-4 und DIN 1053-100 verwenden zu können. Diese „Restnormen“ enthalten nun diese fehlenden Angaben, sodass die Steine direkt in Mauerwerk nach den genannten Normen eingesetzt werden können. Wenn CE-gekennzeichnete Steine zusätzlich diesen „Restnormen“ entsprechen, dann können sie ohne Beachtung der „Anwendungsnormen“ in Mauerwerk nach den obigen Normen verwendet werden.

Tabelle 3.2: Seit April 2006 in Deutschland gültige europäische Normen für Mauersteine und deren nationale An- bzw. Verwendung (vgl. [11])

3.3.2.1 Vollsteine

Unter Vollsteinen versteht man Steine, deren Querschnitt z. B. durch eine Grifföffnung um höchstens 15 % bei Ziegel- und Kalksandvollsteinen (Bild 3.12) bzw. 10 % bei Betonsteinen reduziert ist. Sie können gebrannt sein, z. B. Vollziegel (Mz) und Vollklinker (KMz), oder hydraulisch gebunden sein, z. B. Kalksandvollstein (KSV) sowie Vollblöcke. Des Weiteren gibt es Porenbetonsteine als Plansteine (PP) und Blocksteine (PB). Sie

werden unter Dampfhärtung aus Zement, Kalk, Feinstzuschlägen und Aluminium unter Zugabe von Wasser als Treibmittel hergestellt.

Aus Vollsteinen wird Mauerwerk z. B. mit sehr hohen Festigkeiten oder hoher Schalldämmung hergestellt. Bei Mauerwerk mit Vollsteinen aus Porenbeton liegt das Hauptaugenmerk allerdings auf hoher Wärmedämmung. Rohdichte und Festigkeit sind entsprechend gering.

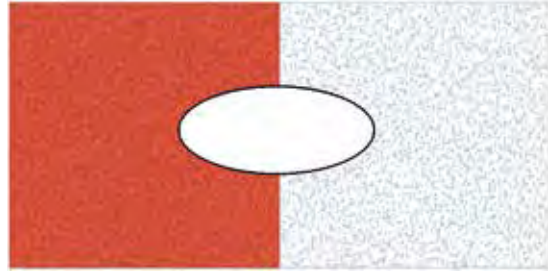


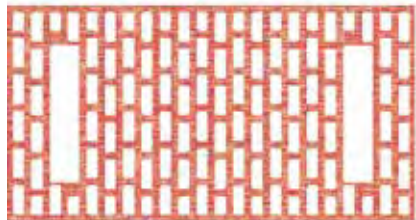
Bild 3.12: Vollstein mit Griffloch, links Mz, rechts KSV

3.3.2.2 Lochsteine

Als Lochsteine werden Steine bezeichnet, deren Querschnitt um mehr als 15 % bei Ziegeln und Kalksandsteinen bzw. 10 % bei Betonsteinen durch Öffnungen reduziert sind. Diese Öffnungen können unterschiedlichste Formen besitzen und beliebig über den Stein verteilt sein.

Gebrannte Lochsteine sind unter anderem Hochlochziegel (HLz, Bild 3.13a), Leichtlochziegel (LHLz), Hochlochklinker (KHLz) und Leichtlanglochziegel (LLz). Hydraulisch gebundene Lochsteine sind z. B. Kalksandlochsteine (KSL, Bild 3.13b) oder Hohlblocksteine aus Leichtbeton (Unterscheidung nach Anzahl der Kammern, z. B. 1K Hbl).

Zu den vorgenannten Steinen kommen noch zahlreiche Varianten, die vor allem hinsichtlich Wärmedämmung optimiert und bauaufsichtlich zugelassen und/oder CE gekennzeichnet sind.



a) Hochlochziegel (HLz)



b) Kalksandlochstein (KSL)

Bild 3.13: Lochsteine

Bild 3.14 gibt eine grobe Übersicht über die derzeit auf dem Markt angebotenen künstlichen Steine.

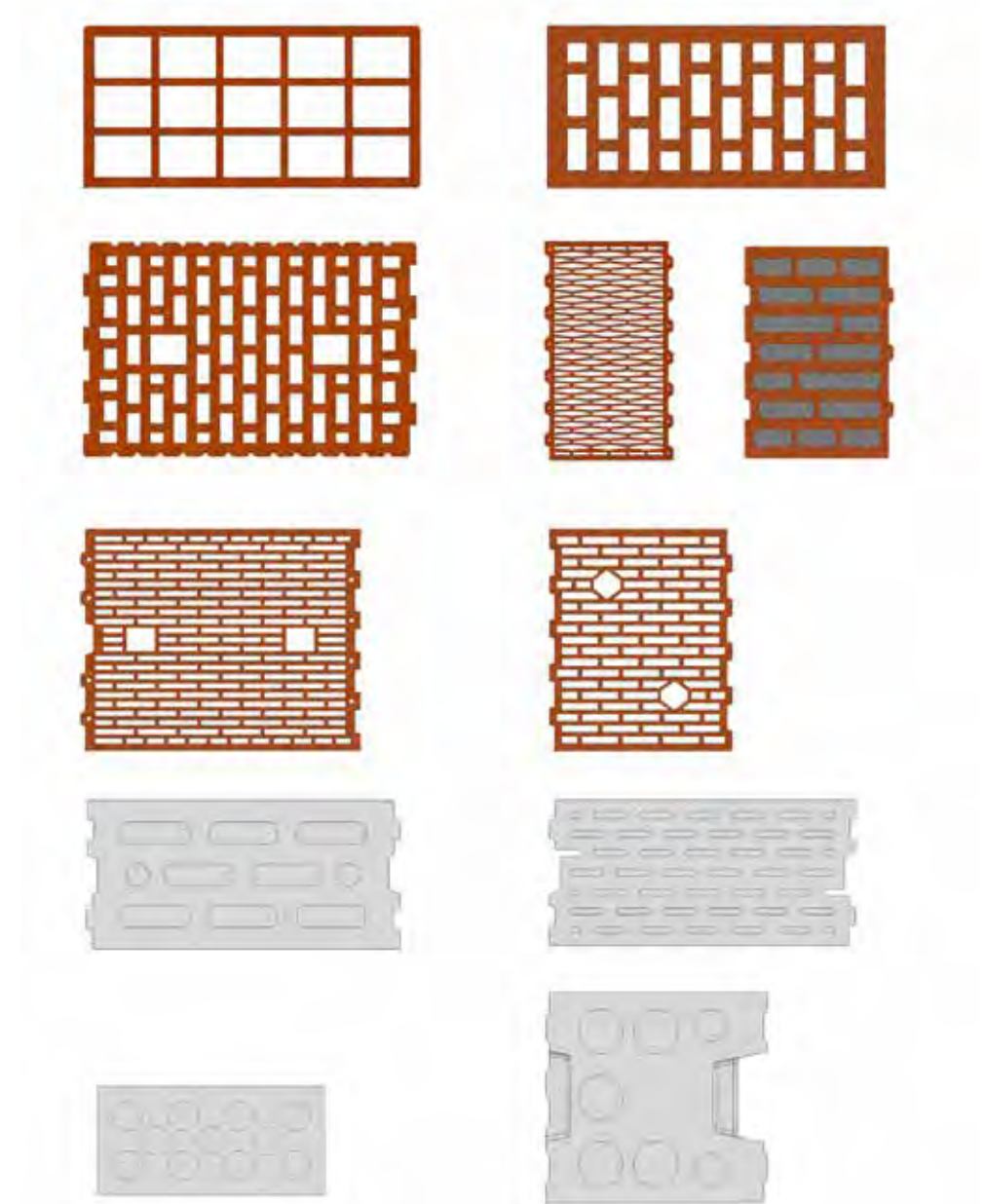


Bild 3.14: Künstliche Steine

4 **Einwirkungen**

Befestigungsmittel müssen so gewählt werden, dass sie die an sie gestellten Anforderungen erfüllen: Sie müssen gebrauchstauglich und dauerhaft sein sowie eine ausreichende Tragfähigkeit besitzen. Dazu muss die Belastung, die als lastabhängige Einwirkung bezeichnet wird, nach Größe, Art und Richtung bekannt sein. Weiterhin müssen Informationen zu den Umgebungsbedingungen der Einbaustelle des Befestigungsmittels, die lastunabhängige Einwirkungen darstellen, vorliegen.

04 **4.1 Lastabhängige Einwirkungen**

Beispiele für lastabhängige Einwirkungen sind in Tabelle 4.1 zusammengestellt. Sie unterscheiden sich grundsätzlich nach der Häufigkeit ihres Auftretens und ihrem zeitlichen Verlauf. Treten Belastungen vorwiegend ruhend auf, z. B. infolge des Eigengewichts des zu befestigenden Bauteils oder einer Trennwand, oder verändern sie sich vergleichsweise langsam wie z. B. durch Einrichtungsgegenstände, Schnee und Personen, dann werden diese Einwirkungen als statisch bezeichnet. Sich schnell ändernde Lasten hingegen werden ermüdungsrelevante (dynamische) Lasten genannt. Dazu gehören stoßartige Beanspruchungen, z. B. aus einem Anprall, sowie häufig wiederkehrende Belastungen, wie sie z. B. bei Aufzügen oder Kranbahnen auftreten. Der Verlauf der Belastung in Abhängigkeit von der Zeit ist in Bild 4.1 beispielhaft für verschiedene Anwendungsfälle dargestellt. Eine genaue Einteilung und Zuordnung der Belastungsart findet sich in den einschlägigen DIN- oder Euronormen.

Anzahl der Lastwechsel				
Keine	Gering		Hoch	
	Ohne Massenkkräfte	Mit Massenkkräften	Ohne Massenkkräfte	Mit Massenkkräften
Eigengewicht Trennwände Personen Einrichtungen Lagerstoffe Schnee Wasser Wind Zwängungen	Zwängungen	Anpralllasten Erdbeben Explosionen	Verkehrslasten auf Brücken und Hofkellerdecken Kranbahnen Aufzüge Maschinen ohne Massenbeschleunigung	Maschinen mit Massenbeschleunigung (z. B. Stanzen, Pressen, Rammen und Schmieden)
Vorwiegend ruhend		Transient, stoßartig (Schock)	Schwellend/ wechselnd	Stoßartig
Statische Einwirkung		Ermüdungsrelevante (dynamische) Einwirkung		

Tabelle 4.1: Einteilung der Einwirkungen

Einwirkungen

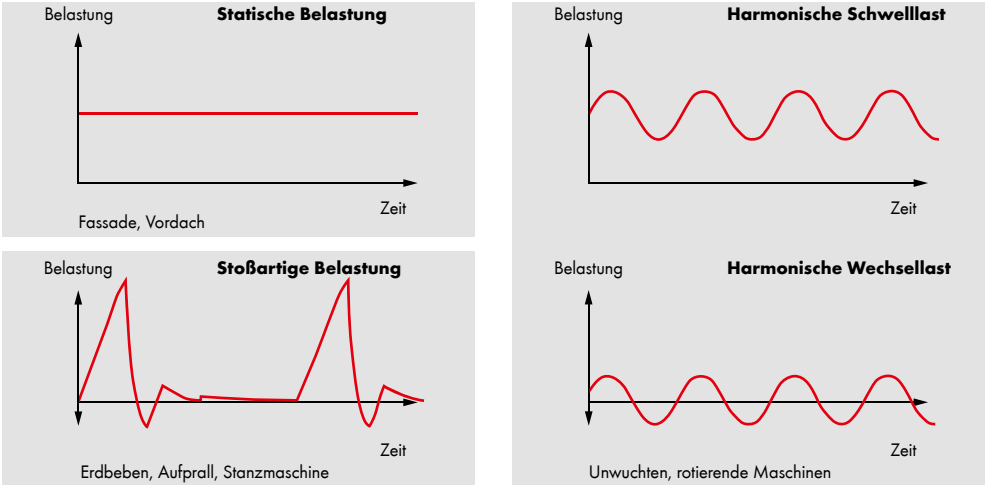


Bild 4.1: Kurvenverlauf verschiedener Belastungsarten in Abhängigkeit von der Zeit

Die statischen und ermüdungsrelevanten (dynamischen) Einwirkungen können als Zuglast, Drucklast, Querlast und Schräglast unter einem bestimmten Winkel zur Dübelachse auftreten (Bild 4.2). Dabei ist darauf zu achten, dass alle Arten von Spreiz- und Hinterschnittdübeln keine Druckkräfte in den Verankerungsgrund einleiten dürfen. Wird das Bauteil mit Abstand zum Verankerungsgrund montiert (Abstandsmontage), kann eine kombinierte Beanspruchung aus Querlast und Biegung oder Schräglast und Biegung auf den Dübel einwirken (Bild 4.3). Bei einer Abstandsmontage ohne Einspannung (Bild 4.3b) kann der Beton an der Oberfläche vor dem Befestigungsmittel ausbrechen. Dies ist bei der Bemessung durch eine Vergrößerung des Hebelarms e_1 um das Maß a_3 zu berücksichtigen. Liegt eine Einspannung vor (Bild 4.3c), entspricht der Hebelarm dem Abstand von der Wirkungslinie der angreifenden Last bis zur Betonoberfläche.

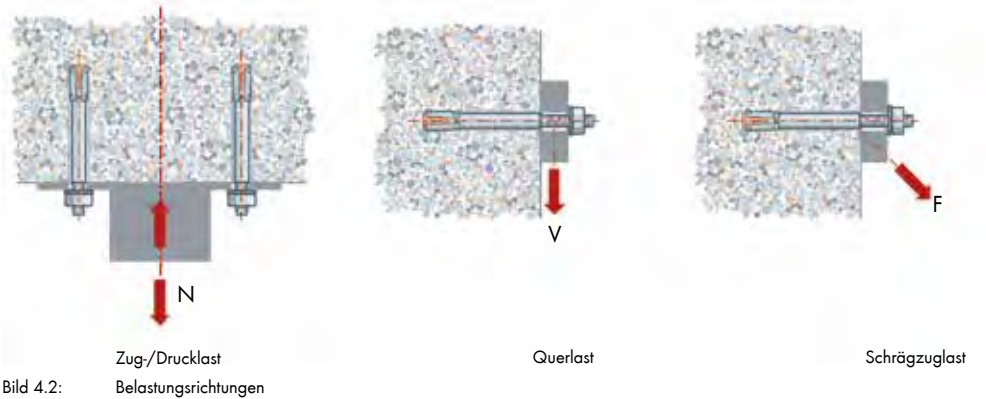


Bild 4.2: Belastungsrichtungen

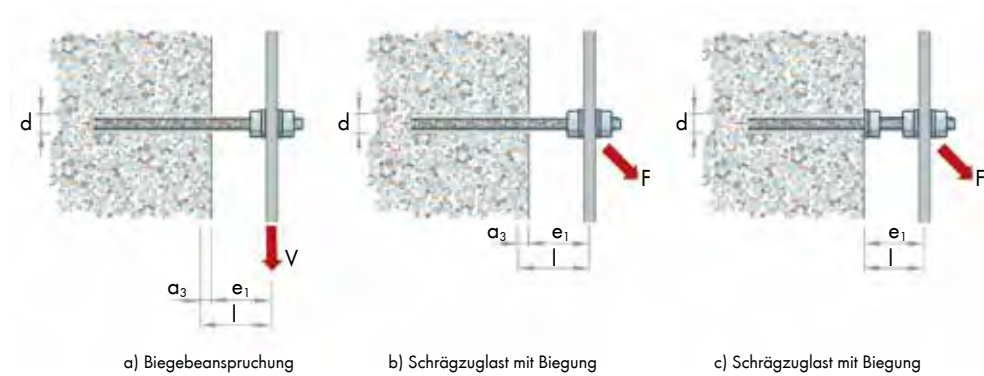


Bild 4.3: Beanspruchung eines Dübels bei Abstandsmontage

4.2 Lastunabhängige Einwirkungen

Von Befestigungen wird zumindest dieselbe Lebensdauer wie von Bauwerken erwartet. Daher sind für Befestigungsmittel Werkstoffe zu wählen, die gegen Umwelteinflüsse so beständig sind, dass diese Bedingung gewährleistet ist.

Durch lastunabhängige Einwirkungen wie schadstoffhaltige Luft und Niederschläge können mit der Zeit schützende Deckschichten wie z. B. Zink von der Dübeloberfläche abgetragen werden. Dies führt zur Korrosion des Dübels, dessen tragender Querschnitt wird geschwächt, die Funktion beeinträchtigt und Rostfahnen können das Aussehen der Befestigung beeinträchtigen.

Des Weiteren können auch in unseren Breitengraden unter direkter Sonneneinstrahlung an Befestigungen Temperaturen in Höhe von 80 °C und höher auftreten. Der Kunststoff eines Kunststoffdübels oder der Reaktionsharzmörtel eines chemischen Dübels muss auch diesen lastunabhängigen Einwirkungen widerstehen können. Weitere Einwirkungen aus dem Bereich der Temperatur sind Frost und Brand.

Bei der Auswahl eines Dübels dürfen die lastunabhängigen Einwirkungen nicht vernachlässigt werden. Die Einflüsse von Luft, Temperatur und Feuchtigkeit (Bild 4.4) sind zu berücksichtigen. So können Behinderungen von Zwangsverformungen (z. B. hervorgerufen durch Schwinden oder Temperatur) zu einer deutlichen Reduzierung der Betonzugfestigkeit führen. Die entstehenden Zwangszugspannungen sind durch Bewehrung im Bauteil aufzunehmen. Ansonsten kann ein Versagen des Bauteils auftreten. Die Produktinformationen und Zulassungsbescheide geben entsprechende Hinweise.

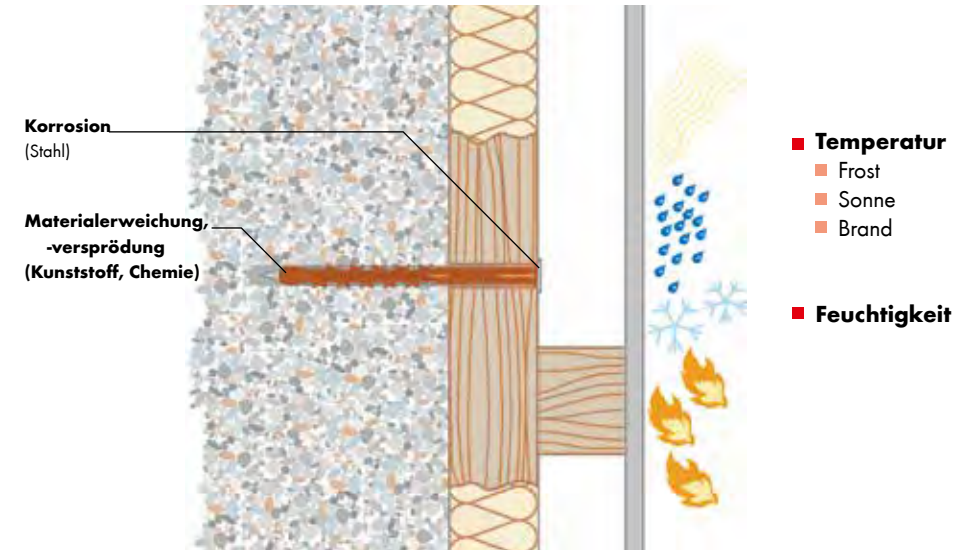


Bild 4.4: Lastunabhängige Einwirkungen

5.1 Allgemeines

Ein Dübel kann nur dann seine Befestigungsaufgabe erfüllen und richtig funktionieren, wenn er fachgerecht montiert ist.

Für die Montage von Dübeln wird üblicherweise im Verankerungsgrund ein Loch gebohrt, anschließend das Befestigungsmittel hineingesteckt und entsprechend der Montageanleitung verankert. Hierzu sind teilweise spezielle Setz- und Montagewerkzeuge zu verwenden.

Das Bohrloch ist immer senkrecht zur Oberfläche des Verankerungsgrunds zu erstellen; eine Schiefstellung bis maximal 5° kann nach [92] noch toleriert werden. Eine Beschädigung oder Durchtrennung der Bewehrung in einem Stahlbetonbauteil während des Bohrvorgangs ist unbedingt zu vermeiden. Durch Bewehrungstreffer kann die Bauteiltragfähigkeit gemindert werden. Außerdem kann das Tragverhalten des Dübels ungünstig beeinflusst werden. Daher empfiehlt es sich, mittels Bewehrungssuchgerät die Lage der Bewehrung zu orten und anzuzeichnen, sodass Bewehrungstreffer und damit Fehlbohrungen ausgeschlossen werden können.

Die Nutzlänge des Dübels ist entsprechend der Höhe einer nichttragenden Schicht, z. B. Putz, sowie des zu befestigenden Elements, des Anbauteils, zu wählen (Bild 5.1).

Bei der Bemessung des Anbauteils und des Dübels wird davon ausgegangen, dass die in Tabelle 5.1 angegebenen Durchgangslöcher eingehalten werden und sich das Anbauteil unter den einwirkenden Lasten nicht verformt. Das Anbauteil muss daher ausreichend steif sein und, außer bei Abstandsmontagen, auf dem Verankerungsgrund vollflächig aufliegen. Werden die Anforderungen an die Durchmesser der Durchgangslöcher nicht eingehalten, kann dies zu einer verminderten Tragfähigkeit führen.

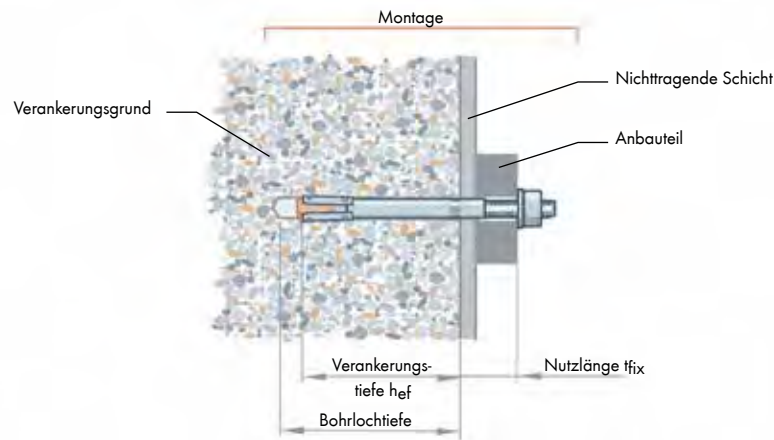


Bild 5.1: Montierter Dübel

	Dübel- bzw. Gewindedurchmesser im Bereich des Anbauteils [mm] ¹⁾											
	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	27	30
Max. zulässiger Durchmesser d_i des Durchgangslochs im Anbauteil [mm]	7	9	12	14	16	18	20	22	24	26	30	33

¹⁾ Entspricht z. B. Nenndurchmesser des Bolzens bzw. Gewindes bei Fixanker (Bild 5.7) bzw. Nenndurchmesser der Dübelhülse bei Hochleistungsanker (Bild 5.9) bzw. Nenndurchmesser des (Außen-)Gewindes der Ankerstange bei Injektionssystemen (Bild 5.29)

Tabelle 5.1: Durchgangslöcher im Anbauteil [mm]

Bei der Montage von Dübeln sind grundsätzlich die Angaben des Zulassungsbescheids zu beachten. Der Zulassungsbescheid muss bei der Dübelmontage vor Ort vorliegen. Außerdem ist immer den Angaben aus der Montageanleitung bzw. den Produktinformationen des Herstellers Folge zu leisten. Letzteres gilt ganz besonders für Dübel ohne Zulassung.

Einzelne Teile von Dübeln dürfen nie ausgetauscht werden. Dübel verlieren hierdurch ihre Funktionstauglichkeit. Falsch gesetzte und wieder ausgebaut Dübel dürfen nicht wieder verwendet werden.

5.2 Bohren

Das Tragverhalten der meisten Dübelssysteme wird durch die Art und Weise, wie das Bohrloch erstellt wird, d. h. das Bohrverfahren und damit die Bohrlochgeometrie beeinflusst. Die Zulassung des Befestigungssystems bestimmt die Wahl des Bohrverfahrens.

5.2.1 Bohrverfahren

Die gängigsten Verfahren zur Erstellung von Löchern in Beton und Mauerwerk sind

- Drehbohren,
- Schlagbohren,
- Hammerbohren und
- Diamantbohren.

Beim Drehbohren wird das Bohrloch im Drehgang ohne jegliche Schlagwirkung erstellt (Bild 5.2a). Der Bohrfortschritt erfolgt durch das Drehen des Bohrers bei gleichzeitigem Drücken der arbeitenden Hand. Das Bohrloch wird aus dem Verankerungsgrund „herausgeschnitten“. Drehbohren kommt im Vollmaterial mit geringer Festigkeit, z. B. Porenbeton und Lochsteinen, im Mauerwerk zum Einsatz. Für diese Baustoffe ist das Drehbohren empfehlenswert, da bei Einsatz des Schlag- oder Hammerbohrverfahrens das Bohrloch für den Dübel zu groß wird bzw. in Lochsteinen die Stege ausbrechen, d. h. der Verankerungsgrund zertrümmert wird (siehe Kapitel 6.6.3 bzw. 6.7).

Schlagbohren (Bild 5.2b) wird vorwiegend in Vollmaterialien mit niedriger Festigkeit, z. B. Vollsteinen im Mauerwerk, oder niederfestem Normalbeton eingesetzt. Das Bohrloch wird drehend-schlagend erstellt. Der Bohrfortschritt erfolgt nach dem Prinzip „Drehen + Drücken + Schläge“. Dabei werden durch eine rotierende Rasterscheibe Schläge auf den sich drehenden Bohrer aufgebracht, die durch das Andrücken des Bohrers zum Abbau des Untergrundmaterials führen. Schlagbohren ist durch eine hohe Schlagfrequenz bei relativ niedriger Schlagenergie gekennzeichnet.

Beim Hammerbohren (Bild 5.2c) wird drehend-hämmernd gebohrt. Der Unterschied zum Schlagbohren besteht darin, dass die Schläge pneumatisch erzeugt werden. Die Schläge werden wie bei einem Hammer durch einen Schlagkolben auf den Bohrer übertragen. Die Schlagfrequenz ist viel geringer als beim Schlagbohren, die Schlagenergie jedoch sehr viel höher. Haupteinsatzgebiet ist das Erstellen von Bohrlöchern in Beton.

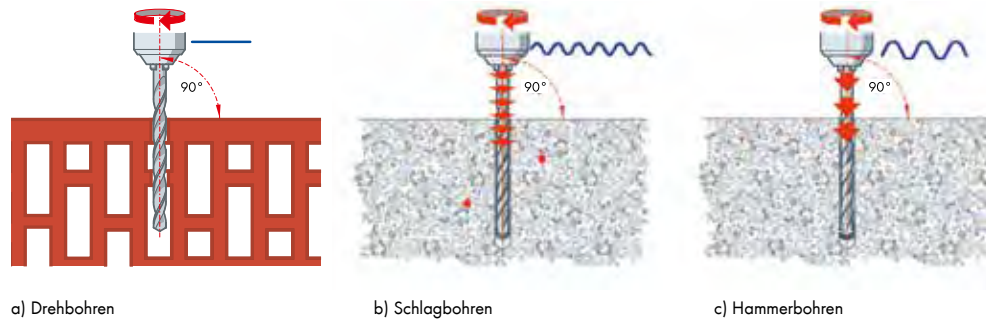


Bild 5.2: Bohrverfahren

Bohrlöcher für Dübel müssen Toleranzgrenzen einhalten. Diese sind bei neuen Bohrern gewährleistet, wenn Bohrwerkzeuge mit der Prüfmarke der Prüfgemeinschaft Mauerbohrer e.V. Remscheid verwendet werden (Bild 5.3). Die Prüfmarke befindet sich auf dem Schaft des Bohrers.



Bild 5.3: Prüfmarke der Prüfgemeinschaft Mauerbohrer e.V. Remscheid

Diamantbohren (Bild 5.4) ist ein erschütterungsfreies Bohrverfahren. Dabei wird mithilfe von Diamantsplittern, die in die Bohrkronen eingelassen sind, ein Bohrkern aus dem Beton drehend herausgeschnitten. Es wird im Nass- und Trockenbohrverfahren angewandt. Die Anwendung erfolgt meist erst bei größeren Bohrdurchmessern, bei Bohrungen, die glatte Wandungen benötigen, und vor allem in hochfestem Beton. Eine Durchtrennung von Bewehrung ist ohne Probleme möglich. Die Erstellung von Löchern mithilfe von Diamantbohrverfahren ist sehr aufwendig und zudem für die Erstellung von Dübellöchern mit wenigen Ausnahmen nicht zulässig. Genauere Informationen enthalten die Zulassungsbescheide und Produktinformationen der Dübel.



Bild 5.4: Diamantbohren

5.2.2 Fehlbohrungen

Fehlbohrungen sind Bohrungen, die

- an der falschen Stelle gebohrt wurden oder
- wegen Auftreffens auf die Bewehrungsstäbe nicht die erforderliche Bohrtiefe erreichen oder
- Bewehrungsstäbe berühren, sodass der Dübel nicht mehr ordnungsgemäß montiert werden kann.

In Fehlbohrungen darf nicht verankert werden. Sind Fehlbohrungen aufgetreten, muss laut den Zulassungsbescheiden in den meisten Fällen ein Mindestabstand zwischen Fehlbohrung und neuer Bohrung eingehalten werden. Die allgemeinen Regelungen dazu sind in Tabelle 5.2 dargestellt.

Dübeltyp	Abstand/empfohlene Maßnahmen ¹⁾
Metallspreizdübel	≥ 2x Tiefe der Fehlbohrung und Vermörtelung der Fehlbohrung
Kunststoffdübel	≥ 2x Tiefe der Fehlbohrung und Vermörtelung der Fehlbohrung > 5x Außendurchmesser des Dübels
Verbunddübel	Keine Anforderungen an den Abstand der Fehlbohrung; Vermörtelung der Fehlbohrung
Verbund-Spreizdübel	Keine Anforderungen an den Abstand der Fehlbohrung; Vermörtelung der Fehlbohrung

¹⁾ Näheres regelt die Zulassung des entsprechenden Produkts bzw. regeln die Herstellerangaben.

Tabelle 5.2: Allgemeine Regelungen in Zulassungsbescheiden hinsichtlich des Abstands zwischen Fehlbohrung und neuer Bohrung

Die genauen Regelungen sind den bauaufsichtlichen Zulassungen oder den Produktinformationen zu entnehmen.

5.2.3 Grobbestimmung der Art des Verankerungsgrunds

Liegen bezüglich des Verankerungsgrunds keine genauen Informationen vor oder ist der Verankerungsgrund durch eine Putzschicht verdeckt, kann mittels Tabelle 5.3 eine Grobbestimmung der Art des Untergrunds für die Dübelvorauswahl durchgeführt werden.

Bohrfortschritt (Drehbohren)	Untergrund	Farbe des Bohrmehls	Baustoff
Fortlaufend langsam	Vollmaterial	Grau	Beton, Betonstein
		Rot	Ziegel, Klinker
		Weiß	Kalksandstein
Fortlaufend schnell	Hohlmauerwerk	Weiß	Porenbeton
Ruckartig		Grau	Hohlblockstein
		Rot	Hochlochziegel
		Weiß	Kalksandstein mit Löchern

Tabelle 5.3: Grobbestimmung der Art des Verankerungsgrunds

Ist z. B. beim Drehbohren der Bohrfortschritt ruckartig, werden Steinkammern durchbohrt. Ist zudem das geförderte Bohrmehl grau, liegt ein Hohlblockstein vor.

5.3 Montagearten

In der nachträglichen Befestigungstechnik wird zwischen Vorsteckmontage (Bild 5.5a), Durchsteckmontage (Bild 5.5b) und Abstandsmontage (Bild 5.5c) unterschieden.



Bild 5.5: Montagearten

Bei der Vorsteckmontage (Bild 5.5a) wird zunächst das Bohrloch angezeichnet, dann gebohrt, der Dübel gesetzt, das Bauteil aufgesetzt und verschraubt.

Für die Durchsteckmontage (Bild 5.5b) wird das anzuschließende Bauteil positioniert, durch die Löcher im Bauteil in den Untergrund gebohrt, der Dübel durch das Bauteil hindurchgesteckt und montiert, ohne dass das Bauteil wieder abgenommen werden muss. Diese Art der Montage wird bei schweren oder komplizierten Bauteilen sowie Mehrfachbefestigungen bevorzugt. Die Durchsteckmontage erspart das exakte vorherige Anzeichnen jedes Dübellochs und reduziert so die Möglichkeit von Fehlbohrungen.

Die Abstandsmontage wird häufig in der Fassadentechnik angewandt (Bild 5.5c). Dabei liegt der Befestigungspunkt in einem bestimmten Abstand vom Befestigungsgrund. Erreicht wird dies durch Dübel mit großen Befestigungshöhen oder Gewindestangen (Schrauben) in Innengewindeankern. Die Befestigungsmittel erfahren eine zusätzliche Biegebeanspruchung.

5.4 Montage der Dübelsysteme

5.4.1 Allgemeines

Bei der Montage von Dübeln ist stets die Zulassung und die Montageanleitung des Produkts zu beachten. Liegt keine Zulassung für ein Produkt vor, gilt die Montageanleitung.

Vor und während des Montageablaufs sind folgende Punkte zu beachten:

■ Verankerungsgrund

- Beschaffenheit des Verankerungsgrunds vor Ort (Festigkeit)?
- Ist-Abmessungen des als Verankerungsgrund dienenden Bauteils (Dicke, Breite und Länge)?
- Ist die Auswahl der Dübel korrekt?

■ Dübel

- Ist die Zulassung/Montageanleitung des zu montierenden Dübels vor Ort vorhanden?
- Nummer und Geltungsdauer der Zulassung.
- Kontrolle der Befestigungshöhe (Nutzlänge) des Dübels.
- Entspricht die Materialgüte des Dübels (verzinkt/nichtrostender Stahl) der vorgesehenen Anwendung?

■ Anbauteil

- Entsprechen Dicke und Durchgangslöcher des Anbauteils der Zulassung?

■ Montage

- Welches Bohrverfahren fordert die Zulassung/Montageanleitung?
- Welcher Bohrer (Schneideneckmaß, Bohrerlänge) wird benötigt?
- Ist das Bauteil bewehrt? Befindet sich die Bewehrung im Bereich der Verankerungsstelle?
- Welches Werkzeug wird für die Dübelmontage gefordert?
- Welche Art der Montage ist gefordert? Kann exaktes Einmessen und Anzeichnen aller Bohrlocher durch Durchsteckmontage auf ein Minimum reduziert werden?
- Erstellen des Bohrlochs senkrecht zur Oberfläche des Verankerungsgrunds mit der Bohrlochtiefe nach Zulassung bzw. Montageanleitung.
- Entfernen des Bohrmehls aus dem Bohrloch entsprechend den Anforderungen des Zulassungsbescheids bzw. der Montageanleitung.
- Setzen und Montieren des Dübels nach Zulassung bzw. Montageanleitung.
- Montage des Anbauteils entsprechend Zulassung bzw. Montageanleitung.
- Verwendung eines kalibrierten Drehmomentschlüssels.
- Überprüfen der Dübelverbindung gemäß Zulassung (evtl. Versuche am Bauwerk).
- Erstellen und Aufbewahren des Montageprotokolls entsprechend der Zulassung.
- Aufbewahren des Montageprotokolls mit den Bauakten für mindestens fünf Jahre.

5.4.2 Metallspreizdübel

Metallspreizdübel sind in galvanisch verzinktem (Schichtdicke $\geq 5 \mu\text{m}$) oder nichtrostendem Stahl erhältlich und dürfen in der Regel nur in Beton als Verankerungsgrund eingesetzt werden. Sie funktionieren nach dem Wirkprinzip des „Reibschlusses“. Dabei wird die am Dübel angreifende Last durch Reibung zwischen der Spreizschale und der Bohrlochwand in den Verankerungsgrund eingeleitet.

Metallspreizdübel werden in drehmomentkontrolliert und wegkontrolliert spreizende Dübel unterteilt.

5.4.2.1 Drehmomentkontrolliert spreizende Dübel¹⁾

Drehmomentkontrolliert spreizende Dübel werden durch definiertes Anziehen der Schraube oder Mutter mit einem kalibrierten Drehmomentschlüssel verankert. Dabei wird in der Schraube oder im Bolzen eine Vorspannkraft erzeugt und der Konus in die Spreizhülse bzw. Spreizsegmente gezogen. Hierdurch werden diese gegen die Bohrlochwand gepresst (Bild 5.6). Die Spreizwirkung erfolgt nur über die Höhe des Konus.

¹⁾ **Hinweis:** Der hier dargestellte Dübeltyp wird einerseits als „drehmomentkontrolliert spreizender Dübel“ (vgl. CEN/TS 1992-4-1 [9]), häufig aber auch als „kraftkontrolliert spreizender Dübel“ (vgl. z. B. Titel ETAG 001, Teil 2: „Kraftkontrolliert spreizende Dübel“ [52]) bezeichnet. Beim Einbau kontrolliert der Monteur durch die Verwendung eines Drehmomentschlüssels das auf den Dübel aufgebrachte Drehmoment. Durch dieses Drehmoment entsteht im Dübel eine Vorspannkraft (Zugkraft). In diesem Buch wird einheitlich nur der Begriff „drehmomentkontrolliert spreizender Dübel“ verwendet.

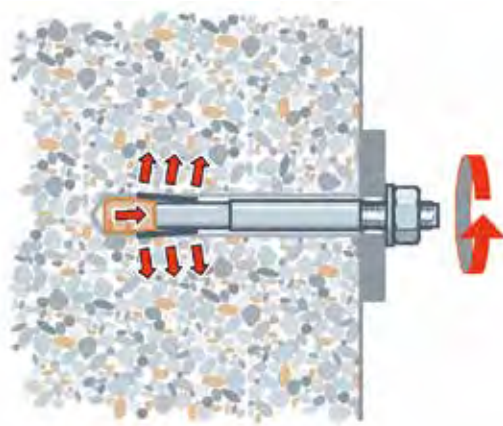


Bild 5.6: Funktionsweise eines drehmomentkontrolliert spreizenden Dübels (Reibschluss zwischen Hülse Außenseite und Bohrlochwandung)

Bohrlochtoleranzen können bei drehmomentkontrolliert spreizenden Dübeln in gewissem Umfang durch unterschiedlich weites Hineinziehen des Konus in die Sprezhülse ausgeglichen werden. Die Höhe des aufgetragenen Montagedrehmoments ist vorgeschrieben und dient als Setzkontrolle. Dübel können nur dann als ordnungsgemäß gesetzt betrachtet werden, wenn beim Setzen das vorgeschriebene Montagedrehmoment aufgebracht, der Dübel verspreizt und damit eine Vorspannkraft im Dübel erzeugt werden konnte. Daher muss das Anziehen in der Regel mit einem kalibrierten Drehmomentschlüssel erfolgen. Andernfalls darf der Dübel nicht belastet werden. Einzelheiten regeln die Zulassungen bzw. Herstellerunterlagen.

Das Drehmoment erfüllt bei drehmomentkontrolliert spreizenden Dübeln zwei wichtige Funktionen. Es stellt die Funktion des Dübels sicher und bewirkt, dass das Anbauteil fest gegen den Verankerungsgrund verspannt wird. Drehmomentkontrolliert spreizende Dübel leiten äußere Zugkräfte vorwiegend über Reibung zwischen der Außenseite des Spreizelements und der Bohrlochwandung in den Verankerungsgrund ein. Übersteigt die äußere Last die vorhandene Vorspannkraft bzw. öffnet sich im Beton ein Riss (vgl. Kapitel 3.2.5), wird bei risstauglichen Dübelssystemen der Konus weiter in die Sprezhülse hineingezogen. Durch diesen Vorgang wird die Haltekraft des Dübels aufrechterhalten. Er wird als Nachspreizen bezeichnet.

Beispiele für drehmomentkontrolliert spreizende Metaldübel sind der Würth W-FAZ und W-FAZ IG Fixanker (Bolzentyp) (Bild 5.7 und Bild 5.8) und der Würth W-HAZ Hochleistungsanker (Hülsentyp) (Bild 5.9). Ihre Montage ist in den genannten Bildern dargestellt.

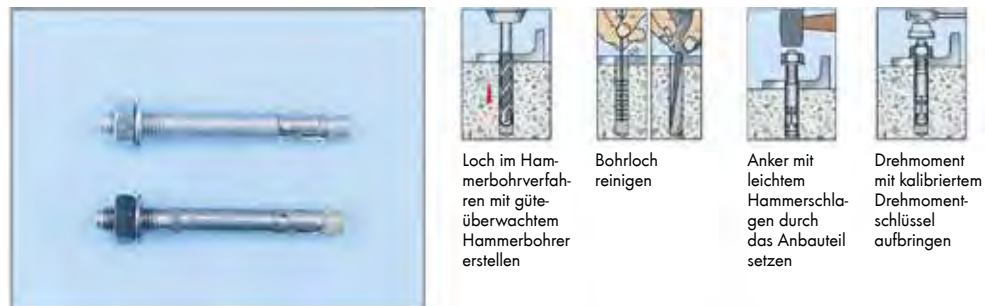
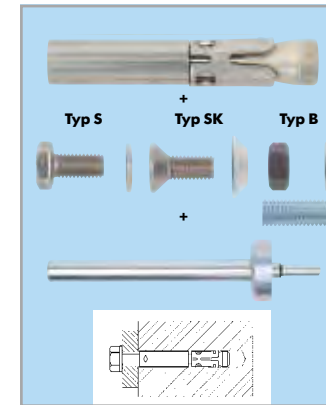
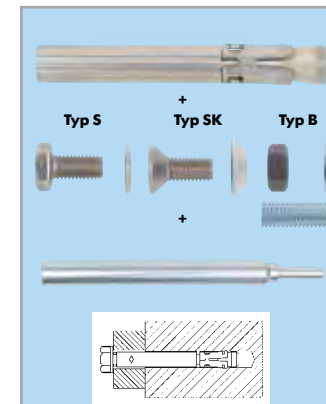


Bild 5.7: Durchsteckmontage mit dem Würth Fixanker W-FAZ/S



a) Vorsteckmontage



b) Durchsteckmontage

Bild 5.8: Würth Fixanker Innengewinde W-FAZ-IG in Vorsteckmontage a) bzw. Durchsteckmontage b)

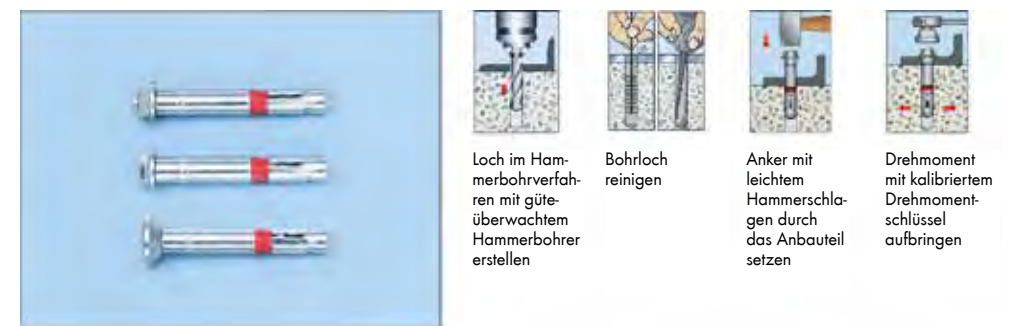
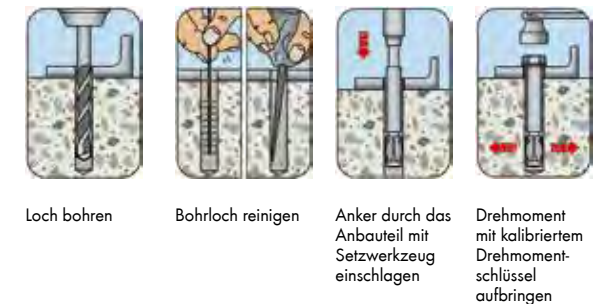
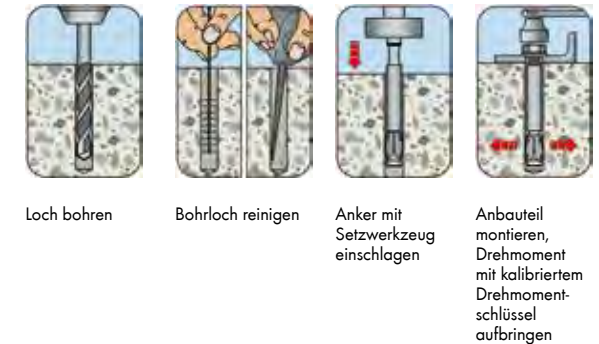


Bild 5.9: Durchsteckmontage mit dem Würth Hochleistungsanker W-HAZ

5.4.2.2 Wegkontrolliert spreizende Dübel

Bei wegkontrolliert spreizenden Dübeln wird über einen definierten Weg entweder ein Konus mit einem speziellen Setzwerkzeug in eine Hülse eingeschlagen (Einschlagdübel, Bild 5.10a) oder eine Hülse über einen Konus getrieben (Bild 5.10b). Durchsteckmontagen sind mit Einschlagdübeln nicht möglich. Einschlagdübel werden durch Einschlagen des Konus in die Hülse mit einem speziellen Setzwerkzeug über einen definierten Weg verspreizt. Die äußeren Zuglasten werden vorwiegend durch Reibung in den Verankerungsgrund eingeleitet. Die Spreizwirkung beschränkt sich auf die Höhe des Konus. Wegkontrolliert spreizende Dübel können nicht nachspreizen.

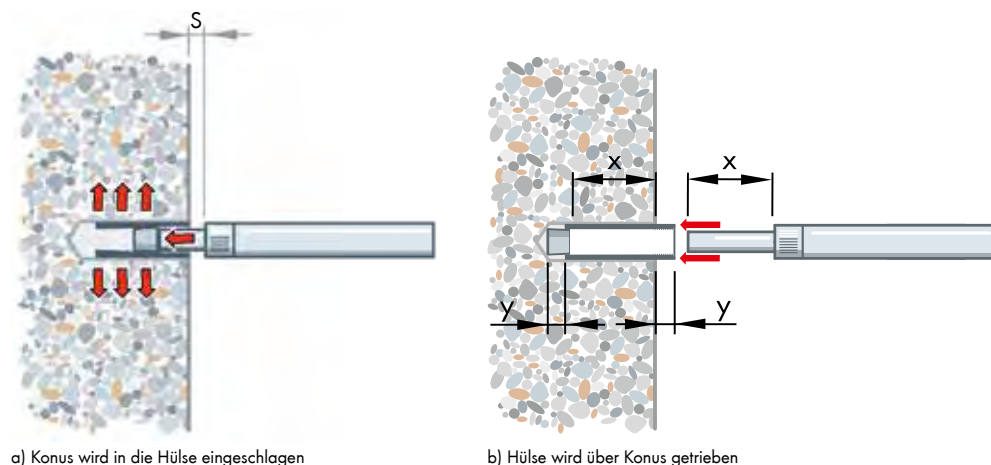


Bild 5.10: Funktionsweise wegkontrolliert spreizender Dübel (Reibschluss zwischen Hülseaußenseite und Bohrlochwandung)

Die erzeugten Spreiz- bzw. Spaltkräfte sind bei wegkontrolliert spreizenden Dübeln erheblich größer als bei drehmomentkontrolliert spreizenden Dübeln. Daher sind auch die erforderlichen Mindestachs- und Randabstände größer.

Einschlagdübel sind empfindlich gegenüber einer unvollständigen Verspreizung z. B. infolge von Bohrlochtoleranzen. Daher ist bei der Montage der Einschlagdübel die Verwendung von Bohrern mit dem Prüfzeichen der Prüfgemeinschaft Mauerbohrer, die die vorgeschriebenen Fertigungstoleranzen einhalten, besonders empfehlenswert. Auch bei Verwendung von güteüberprüften Bohrern (vgl. Kapitel 5.2.1) muss beachtet werden, dass sich Bohrer abnutzen können. Ein infolge dieser Abnutzung zu kleines bzw. zu enges Bohrloch erschwert eine vollständige Verspreizung des Dübels. Weiterhin ist darauf zu achten, dass die Bohrlochtiefe exakt eingehalten wird, damit die Hülse oberflächenbündig zur Betonoberfläche verbleibt und die gewählte Länge der Schraube zur Befestigung des Anbauteils ausreicht. Der Dübel ist dann richtig montiert, wenn der Bund des auf die Dübelgröße abgestimmten Setzwerkzeugs auf der Dübelhülse aufsitzt. Eine ordnungsgemäße Montage ist nur mithilfe des für das Produkt vorgeschriebenen speziellen Setzwerkzeugs möglich. Hierzu ist insbesondere in hochfestem Beton oder bei Bohrlochdurchmessern an der unteren Toleranzgrenze eine große Anzahl von Hammerschlägen erforderlich. Deshalb sind Setzkontrollen durchzuführen. Die Setzkontrollen werden vereinfacht, wenn ein Setzwerkzeug verwendet wird, das beim Aufsitzen auf der Dübelhülse einen Abdruck hinterlässt.

Das Anbauteil ist dann richtig befestigt, wenn die Schraube mit dem empfohlenen Drehmoment angezogen und damit das Anbauteil fest gegen den Untergrund verspannt ist. Hierfür ist ein kalibrierter Drehmomentschlüssel zu verwenden. Durch die Begrenzung des Drehmoments wird verhindert, dass die Dübelhülse oder der Schraubenkopf während der Montage abreißt.

Bild 5.11 zeigt einen Würth Einschlagdübel W-ED/S, W-ED/A4 mit zugehörigem Setzwerkzeug und der Darstellung des Montagevorgangs.

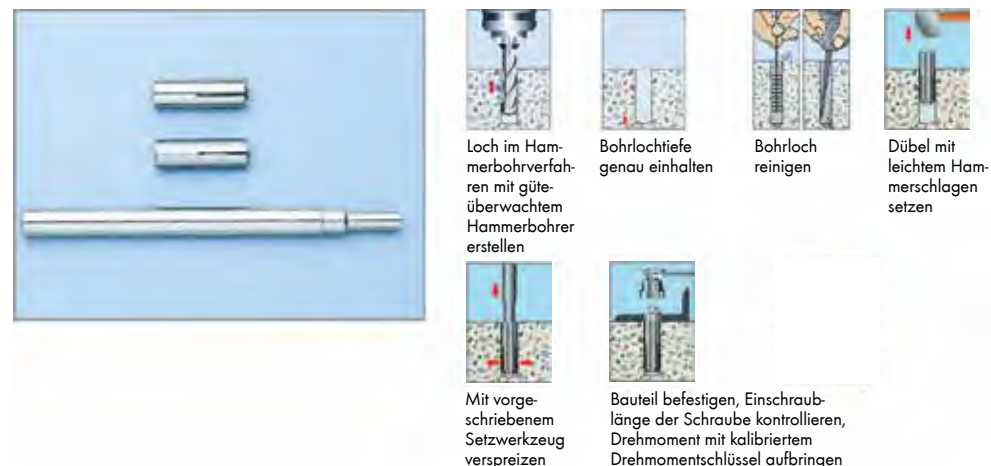


Bild 5.11: Vorsteckmontage mit dem Würth Einschlagdübel W-ED/S, W-ED/A4

5.4.3 Schraubanker

Beim Eindrehen des Schraubankers in den Beton schneidet der Schraubanker ein Gewinde in die Wand des Bohrlochs (Bild 5.12). Zuglasten werden dann durch mechanische Verzahnung (Formschluss) in den Untergrund eingeleitet (Bild 5.13).



Bild 5.12: Schraubanker und ein in den Beton geschnittenes Gewinde [66]

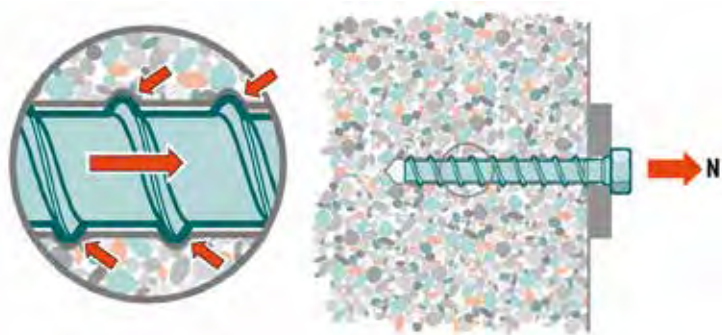


Bild 5.13: Lasteinleitung bei Schraubankern (Formschluss)

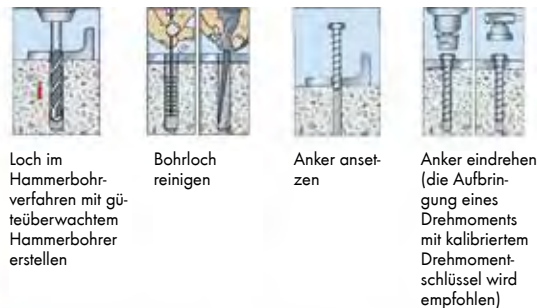
Das Tragverhalten von Schraubankern kann mit dem Tragverhalten von einbetonierten Rippenstäben verglichen werden. Die Gewindeflanken des Schraubankers haben eine den Rippen eines Rippenstabs vergleichbare Funktion, nämlich die der Lasteinleitung.

Beschädigungen bzw. Ausbrüche im Bereich des in den Beton geschnittenen Gewindes können bei Schraubankern die mechanische Verzahnung reduzieren. Durch diese Ausbrüche wird die Hinterschnittfläche der Gewindeflanken reduziert.

Um das Setzen überhaupt zu ermöglichen, ist bei Schraubankern der Kerndurchmesser kleiner als der Bohrerlochdurchmesser. Bild 5.14 zeigt den Montagevorgang eines Würth Schraubankers W-SA.



Bild 5.14: Montage eines Würth Schraubankers W-SA



Die neueste Weiterentwicklung eines Schraubankers zeigt Bild 5.15. Es handelt sich dabei um einen Schraubanker zur direkten Befestigung von Holzbalken auf Beton.



Bild 5.15: Schraubanker W-SA TC Timber Connect

Das Tragverhalten in Beton ist identisch mit dem der vorher genannten Schraubanker (Bild 5.14). Der Unterschied liegt im groben Holzgewinde und im deutlich kleineren Schraubankerkopf. Damit ist es möglich, den Schraubanker W-SA TC vollständig im Holzbalken zu versenken und die Lasteinleitung in das Holz über das grobe Holzgewinde unterhalb des Kopfes sicherzustellen. Die Montage (Bild 5.16) erfolgt dabei mit einem speziellen Setzwerkzeug, an dem die genaue Einschraubtiefe in den Holzbalken eingestellt werden kann. Damit wird gewährleistet, dass das Betongewinde immer (unabhängig von der Holzbalkendicke) vollständig in den Beton eingeschraubt wird.

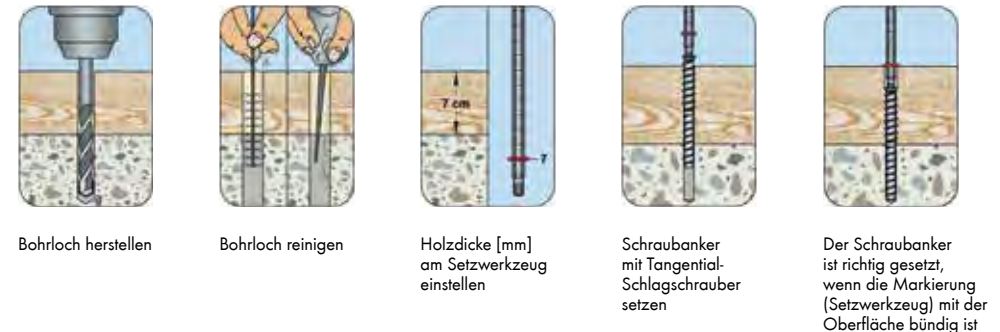


Bild 5.16: Montage des Schraubankers W-SA TC Timber Connect

5.4.4 Deckenabhängiger

Deckenabhängiger dienen zur Befestigung von leichten untergehängten Decken. Ihre Verwendung wird durch europäische technische Zulassungen nach ETAG 001 Teil 6 geregelt. Sie sind drehmoment- oder wegkontrolliert spreizende Metaldübel der Größen M6 und M8 mit Verankerungstiefen bis zu ca. 40 mm. Ihre Montage gestaltet sich analog zu den genannten Systemen.

Aufgrund der kleinen Abmessungen besitzen Deckenabhängiger einen vergleichsweise geringen Spreizweg. Deshalb ist es besonders wichtig, dass mit dem Prüfsiegel der Prüfgemeinschaft Mauerbohrer gekennzeichnete Bohrer für die Bohrerherstellung verwendet werden.

Der ordnungsgemäße Sitz aller Deckenabhängiger ist nach der Montage durch Probebelastung einer ausreichenden Zahl von Befestigungen zu kontrollieren.

Häufig werden auch Schraubanker als Deckenabhängiger verwendet. Die o.g. Aussagen gelten hierfür sinngemäß.

5.4.5 Kunststoffdübel

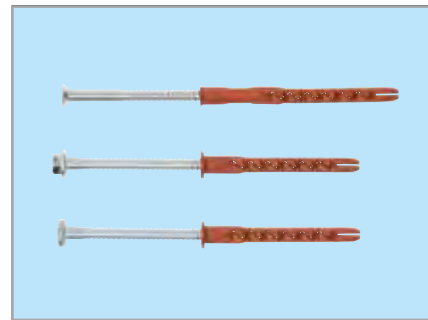
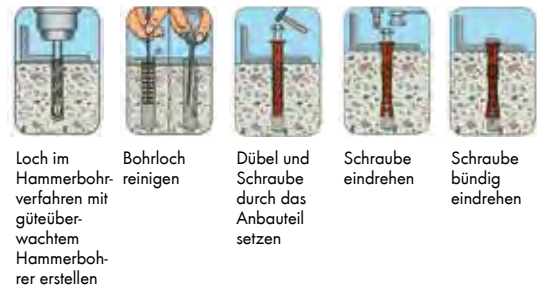
Bei bauaufsichtlich zugelassenen Kunststoffdübeln dürfen als Kunststoffhülse und zugehörige Spezialschraube nur serienmäßig gelieferte Befestigungseinheiten eingesetzt werden. Länge, Durchmesser und Gewinde der mitgelieferten Schraube sind zur Erzielung eines optimalen Tragverhaltens auf die Dübelhülse abgestimmt. Außerdem verhindert ein Kragen am Hülsende ein Tieferutschen der Hülse ins Bohrloch. Zusätzlich ist die erforderliche Verankerungstiefe auf der Hülse markiert. Durch diese Maßnahmen sollen Montagefehler ausgeschlossen werden. Bei der Montage ist die Temperatur des Verankerungsgrunds zu beachten. In allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen beträgt die minimale Montagetemperatur, unabhängig vom Produkt, 0 °C. Bei europäischen technischen Zulassungen für Kunststoff-Rahmendübel hängt die minimale Montagetemperatur vom jeweiligen Produkt ab und wird in der Zulassung angegeben.

Kunststoffdübel lassen sich hinsichtlich ihres Anwendungsbereichs in Systeme für Befestigungen in Beton und Mauerwerk aus Voll-, Loch- und Hohlsteinen unterteilen. Im Rahmen der europäischen technischen Zulassungen nach ETAG 020 [53] werden deshalb Kunststoffdübel in folgende Nutzungskategorien eingeteilt:

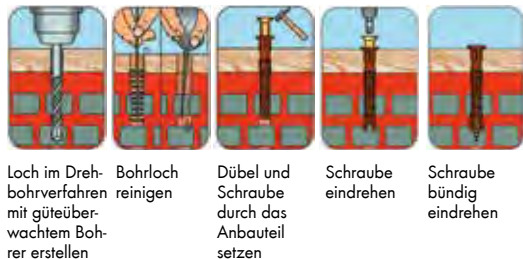
Nutzungskategorie	Untergrund
a	Beton
b	Vollziegel
c	Lochsteine/Hohlblöcke
d	Porenbeton

Tabelle 5.4: Kombinationen der verschiedenen Nutzungskategorien sind möglich

Sie bestehen aus einer Dübelhülse mit Spreizteil und einer Schraube (Bild 5.18). Weiterhin gibt es Schlagspreizdübel mit einem Schraubnagel (Bild 5.19). Das Spreizteil der Kunststoffdübel ist geschlitzt und besitzt Sperrzungen zur Sicherung gegen Mitdrehen bei der Montage und Demontage.

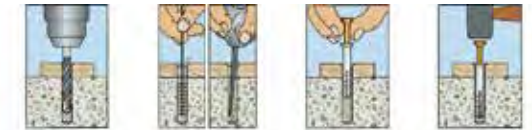


a) Befestigungen in Beton



b) Befestigungen in (Lochstein-)Mauerwerk

Bild 5.17: Montage des Würth Rahmendübeln W-UR a) für Befestigungen in Beton und b) für Befestigungen in (Lochstein-)Mauerwerk



Loch bohren

Bohrloch
reinigen

Dübel durch
das Anbau-
teil in das
Bohrloch
stecken

Spreizna-
gel bündig
einschla-
gen

Bild 5.18: Montage des Würth Nageldübeln

Die Dübelhülse wird durch Eindrehen der Schraube (Bild 5.17 a) oder b)) oder Einschlagen des Schraubnagels (Bild 5.18) gespreizt. Die Schraube bzw. der Schraubnagel ist bis zum Rand der Dübelhülse einzudrehen bzw. einzuschlagen, sodass die Spitze der Schraube oder des Nagels das Ende der Dübelhülse durchdringt. Dabei prägt und schneidet sich die Schraube ein Gewinde in den Kunststoff und presst gleichzeitig die Hülse gegen die Bohrlochwand.

In Vollmaterial (Normalbeton und Vollsteine) wirken die Dübel durch Reibung zwischen der Hülse und der Bohrlochwand, da der Kunststoff aufgrund seiner gegenüber Beton geringeren Festigkeit nicht dazu in der Lage ist, das Material des Verankerungsgrunds zu verdrängen. In Loch- und Hohlsteinen tragen die Dübel ebenfalls vorwiegend über Reibung. Durch die zusätzliche Verzahnung der Hülse mit den angebohrten Stegen der Steine wird ein weiterer, allerdings geringer Beitrag zur Haltekraft geliefert. Um bei diesen Steinen das Anpressen des Dübels an die Stege zu gewährleisten, ist die Lage des Spreizbereichs auf die unterschiedlichen Lochbilder hin abgestimmt.

In Lochsteinen dürfen die Bohrlöcher im Allgemeinen nur mit Bohrmaschinen im Drehgang, d. h. ohne Hammer- oder Schlagwirkung hergestellt werden, da sonst die Stege durch die hohe Schlagenergie zerstört werden. Dadurch kann die Traglast der Dübel deutlich reduziert werden.

5.4.6 Verbunddübel

5.4.6.1 Allgemeines

Verbunddübel sind Verankerungen, bei denen Gewindestangen oder Innengewindehülsen mit einer Verbundmasse nachträglich in ein Bohrloch gesetzt werden. Es ist zwischen Anwendungen in Beton und Mauerwerk zu unterscheiden.

In Beton beträgt die Verankerungstiefe der Verbunddübel etwa das 8- bis 10-Fache des Ankerstangendurchmessers. Das Wirkungsprinzip beruht hauptsächlich auf einer Verklebung des Stahlteils mit der Bohrlochwand (Bild 5.19). Es wird als Stoffschluss bezeichnet. Äußere Zuglasten werden über Verbund zwischen der Verbundmasse und dem Stahlteil sowie über Verbund zwischen Verbundmasse und der Bohrlochwandung in das als Verankerungsgrund dienende Bauteil eingetragen.

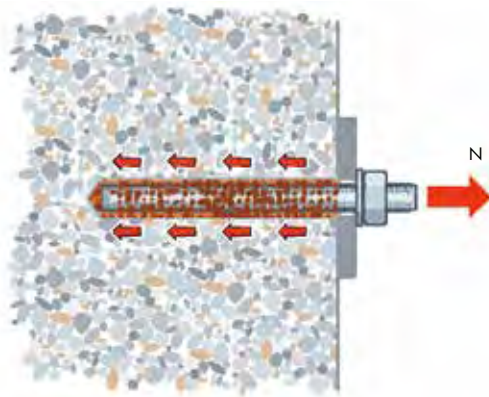


Bild 5.19: Lasteintragung bei Verbunddübeln über Stoffschluss

Bei Verbunddübeln unterscheidet man Patronen- und Injektionssysteme. Die Aushärtung der Verbundmasse ist von ihrer chemischen Zusammensetzung und der Temperatur im Verankerungsgrund abhängig. Zwischen dem Setzen und Belasten der Dübel ist deshalb je nach Harzart bei Verankerungsgrundtemperaturen von 10 °C bis 20 °C eine Wartezeit von ca. 20 bis 45 Minuten und bei der minimalen Anwendungstemperatur von -5 °C von mehreren Stunden einzuhalten. Genaue Angaben enthalten die Zulassungsbescheide und Produktinformationen, die bei Injektionsdübeln auch auszugsweise auf der Kartusche abgedruckt sind.

Ein guter Verbund zwischen Beton und Verbundmasse wird nur erreicht, wenn der Verbunddübel entsprechend den Montageanleitungen sorgfältig montiert wird. Auf eine gründliche Reinigung des Bohrlochs ist besonders zu achten.

Beim Setzen von chemischen Dübeln werden keine Spaltkräfte geweckt. Sie entstehen jedoch beim Vorspannen und Belasten des Dübels.

Für Befestigungen in Mauerwerk werden vor allem Injektionsdübel verwendet. In Vollsteinen erfolgt die Lastabtragung wie in Beton durch Stoffschluss (Bild 5.19). In Lochsteinen bildet der in die Kammern eingepresste Injektionsmörtel einen Formschluss mit den Stegen (Bild 5.20). Deshalb tragen Injektionsdübel in Mauerwerk ihre Lasten überwiegend durch Formschluss in den Untergrund ein.

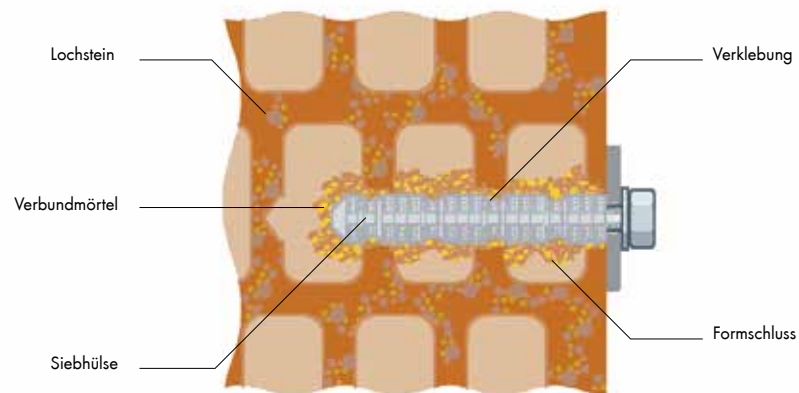


Bild 5.20: Verankerung von Injektionsdübeln in Lochsteinen, Lasteintragung über Form- und Stoffschluss

5.4.6.2 Verbunddübel-Patronensysteme

Patronensysteme sind für den Einsatz im ungerissenen Beton bestimmt und aus galvanisch verzinktem oder nichtrostendem Stahl erhältlich. Sie bestehen aus einer an der Spitze abgeschrägten Gewindestange oder Innengewindehülse mit Setztiefenmarkierung sowie einer Mörtelpatrone aus Glas. Die Mörtelpatrone enthält Reaktionsharz, Härter sowie Quarzzuschlag in definierter Zusammensetzung. Für jede Verankerung ist eine Glaspatrone zu verwenden. Die Montage ist in Bild 5.21 zusammenfassend dargestellt.

Die Glaspatrone wird in ein gereinigtes Bohrloch eingeführt. Anschließend wird die Gewindestange über einen Setzadapter mithilfe eines Bohrhammers unter Dreh-Schlag-Bewegungen bis zur erforderlichen Setztiefe eingetrieben. Dabei wird die Patrone zerstört, Harz und Zuschlagstoffe gut durchmischt und verdichtet sowie der Ringspalt zwischen Gewindestange und Bohrlochwand ausgefüllt. Die Mörtelmenge ist so konfektioniert, dass beim Erreichen der erforderlichen Setztiefe an der Betonoberfläche Überschussmörtel austritt. Dies zeigt die vollständige Vermörtelung der Gewindestange an und dient als Setzkontrolle.

Nach Einhaltung der vorgeschriebenen Aushärtezeit kann das Anbauteil montiert und ein Montagedorndmoment aufgebracht werden.



Bild 5.21: Vorsteckmontage eines Würth W-VD im ungerissenen Beton

5.4.6.3 Risstaugliche Verbunddübel

Für die Verwendung in gerissenen Beton gibt es derzeit zwei verschiedene Systeme. Diese Systeme unterscheiden sich sowohl in der Bemessung als auch in der Ausführung der Ankerstangen deutlich. Bis zur Veröffentlichung des Technical Report TR 029 [57] waren nur Zulassungen für spezielle risstaugliche Verbundsysteme möglich (Bild 5.22).



a)

b)

Bild 5.22: Verbund-Spreizdübel a) W-VIZ und b) W-VIZ-IG

05

Bei dem in Bild 5.22 dargestellten Dübelssystem handelt es sich um einen Konusbolzen, der mehrere Konen enthält. Der Konusbolzen wird mittels eines Injektionsmörtels in zylindrischen Bohrlöchern verankert. Bei Verbund-Spreizdübeln werden die Kone mit zunehmender Belastung in den Mörtel gezogen, der als Spreizschale wirkt. Es entstehen Spreizkräfte und damit Reibungskräfte zwischen Mörtelschale und Bohrlochwandung, die ausreichend hoch sind, um die Zugkraft ohne Inanspruchnahme der Klebewirkung des Mörtels in den Untergrund einzuleiten. Das Setzen der Dübel nach Bild 5.22 erfolgt wie bei üblichen Injektionsdübeln (siehe Bild 5.23 und Bild 5.24).



Erstellen des zylindrischen Bohrlochs

Reinigen des Bohrlochs durch Ausblasen und Ausbürsten

Temperatur messen

Mischer auf Kartusche schrauben

Vor Anwendung ca. 10 cm Masse auspressen



Injektion des Verbundmörtels vom Bohrlochgrund her

Einsetzen der Ankerstange

Optische Kontrolle der Mörtelfüllmenge, Setztiefenmarkierung

Aushärtezeit in Abhängigkeit von der Temperatur des Untergrunds einhalten

Anbauteil montieren, Drehmoment mit kalibriertem Drehmomentschlüssel aufbringen

Bild 5.23: Montage des Würth Verbund-Spreizdübels W-VIZ



Bohrloch erstellen

Reinigungsbürsten-Ø überprüfen

Bohrloch reinigen (2x ausblasen, 2x maschinell ausbürsten, 2x ausblasen), ab M 16 mit Druckluft ausblasen (Druckluftdüse!)

Mischer auf Kartusche schrauben

Vor Anwendung ca. 10 cm Masse auspressen. Mörtelvorlauf nicht verwenden!



Verbundmörtel vom Bohrlochgrund ausgehend verfüllen

Innengewindeanker unter leichter Drehbewegung eindrücken

Optische Kontrolle und Aushärtezeit des Verbundmörtels einhalten

Ausgetretenen Mörtel und Schutzkappe entfernen

Anbauteil montieren, Drehmoment mit kalibriertem Drehmomentschlüssel aufbringen

Bild 5.24: Montage des Würth Verbund-Spreizdübels W-VIZ-IG

Im Unterschied zu den Verbund-Spreizdübeln ermöglicht die Bemessung nach TR 029 (siehe Kapitel 10.3.2) die Verwendung handelsüblicher Gewindestangen in Kombination mit speziellen Injektionsmörteln wie beispielsweise dem WIT-PE 500 (Bild 5.25). Die Ausführungen zum Tragverhalten sind ähnlich wie bei den bisher aufgeführten Systemen für ungerissenen Beton und können Kapitel 5.4.5.7 bzw. 5.2.5.7.3 entnommen werden.

Die handelsüblichen Gewindestangen dürfen dann für Anwendungen in gerissenem Beton verwendet werden, wenn die nachfolgend aufgeführten Anforderungen erfüllt sind:

- Werkstoff, Abmessungen und mechanische Eigenschaften entsprechen der jeweiligen europäischen technischen Zulassung.
- Nachweis von Werkstoff und mechanischen Eigenschaften durch ein Abnahmeprüfzeugnis 3.1 entsprechend DIN EN 10204:2004, die Nachweise sind aufzubewahren.
- Markierung der Gewindestange mit der geplanten Verankerungstiefe. Dies kann durch den Hersteller oder durch das Baustellenpersonal erfolgen.



Bild 5.25: Würth WIT-PE 500 Injektionsmasse zur Verankerung von handelsüblichen Gewindestangen in gerissenem Beton

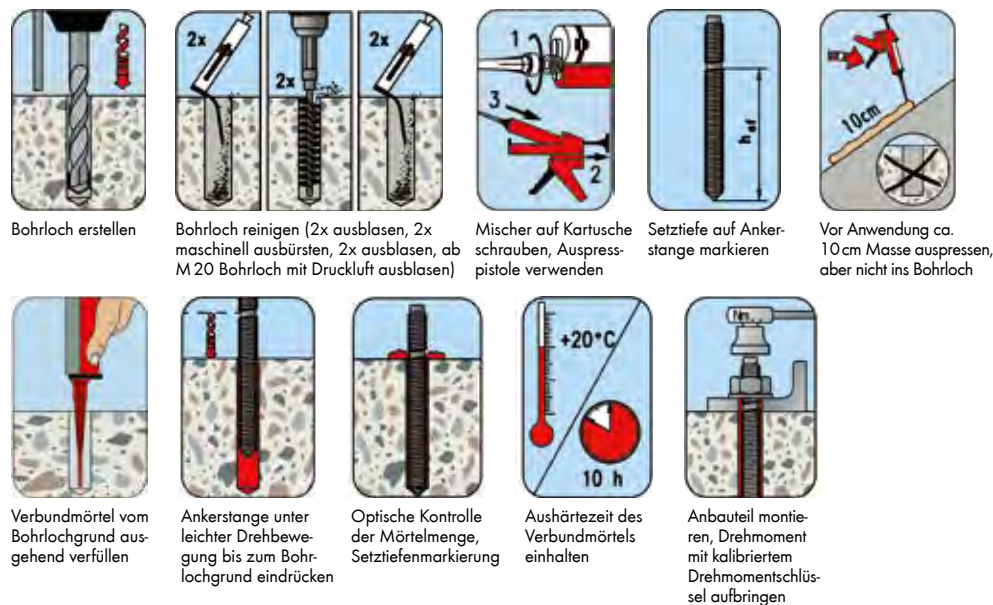


Bild 5.26: Montage des Injektionssystems WIT-PE 500 für gerissenen Beton

5.4.6.4 Verbunddübel für ermüdungsrelevante (dynamische) Einwirkungen

Die in den vorherigen Kapiteln vorgestellten Dübelsysteme sind alle nur für sogenannte „vorwiegend ruhende“ Lasten geeignet. Treten bei der Belastung der Dübel jedoch ermüdungsrelevante Lasten auf (vgl. Kapitel 4.1), dann müssen speziell für diese Anwendung entwickelte Dübelsysteme verwendet werden. Bild 5.27 zeigt die Ankerstange des W-VIZ/S DYNAMIC. Gegenüber der in Bild 5.22 dargestellten Ankerstange des W-VIZ wurden die Konen modifiziert und die Mutter und Unterlegscheibe durch eine Kegelpfanne und eine Mutter mit kugelförmiger Auflagefläche ersetzt.



Bild 5.27: Ankerstange des W-VIZ/S DYNAMIC

Des Weiteren verfügt die Ankerstange des W-VIZ DYNAMIC über einen Kunststoffzentrierung und eine zusätzliche Sicherungsmutter. Bedingt durch diese Ausbildung und Zusammensetzung der Ankerstange kann dieses System deshalb für ermüdungsrelevante Anwendungen verwendet und bemessen werden (siehe dazu Kapitel 9.8 bzw. 10.7). Bei der Montage wird, im Gegensatz zur Montage des W-VIZ (siehe Bild 5.23), das Bohrloch im Anbauteil (beim Einbringen der Ankerstange) vollständig mit Injektionsmörtel verfüllt. Aus diesem Grund ist bei diesem System auch keine Vorsteckmontage, sondern nur eine Durchsteckmontage möglich. Den vollständigen Montagevorgang zeigt Bild 5.28. Das Tragverhalten im Beton ist ähnlich wie beim W-VIZ (vgl. Kapitel 5.4.7.2).

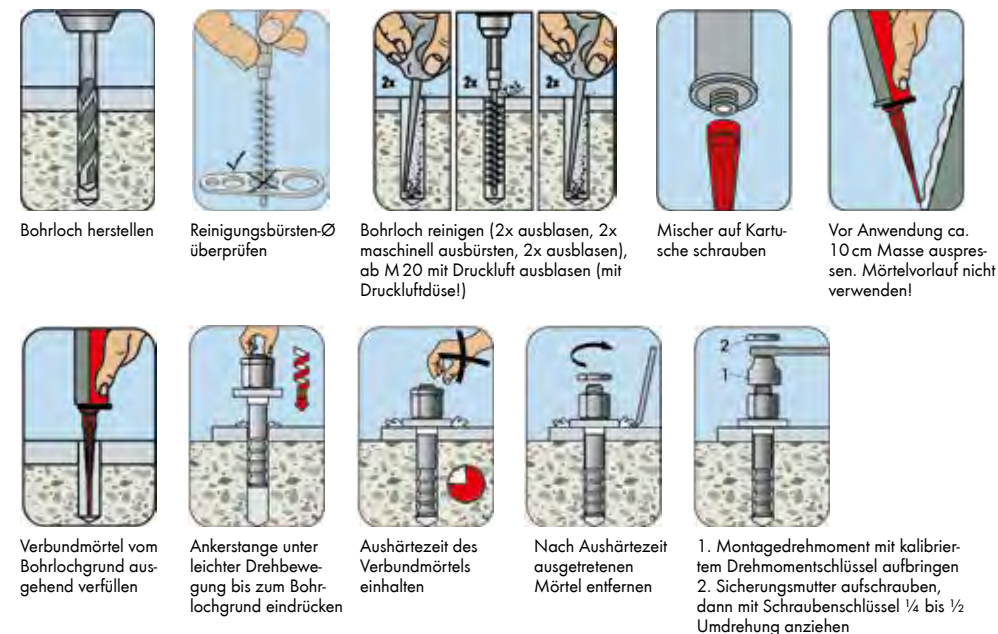


Bild 5.28: Montage des Injektionssystems W-VIZ DYNAMIC für ermüdungsrelevante Einwirkungen

5.4.6.5 Verbunddübel-Injektionssysteme für Verankerungen im ungerissenen Beton und Mauerwerk

Würth Injektionssysteme sind für den Einsatz im ungerissenen Beton sowie in Voll- und Hohlmauerwerk vorgesehen. Injektionssysteme sind i. d. R. als Zweikomponentensysteme aufgebaut. Dabei enthalten Kartuschen vorkonfektionierte Mengen von Harz und Härter. Bild 5.29 zeigt die Bestandteile und den Montagevorgang eines Injektionssystems ohne Siebhülse. Harz und Härter werden beim Einbringen in das Bohrloch mithilfe eines auf die Kartuschen abgestimmten Auspressgeräts durch einen speziellen Mischer ausgepresst. Die Ge-

windestange oder die Innengewindehülse wird anschließend ins Bohrloch gedrückt und dabei leicht gedreht, um den Kontakt zwischen Verankerungselement und Verbundmasse zu verbessern. Beim Einbringen dürfen sich in der Verbundmasse keine Luftblasen bilden. Daher ist darauf zu achten, dass das Verfüllen des Bohrlochs mit dem Injektionsmörtel vom tiefsten Punkt des Bohrlochs beginnt und die Spitze der Injektionsnase den Mörtel während des Injizierens nicht verlässt. Andernfalls ist mit erheblichen Traglastminderungen zu rechnen.

05

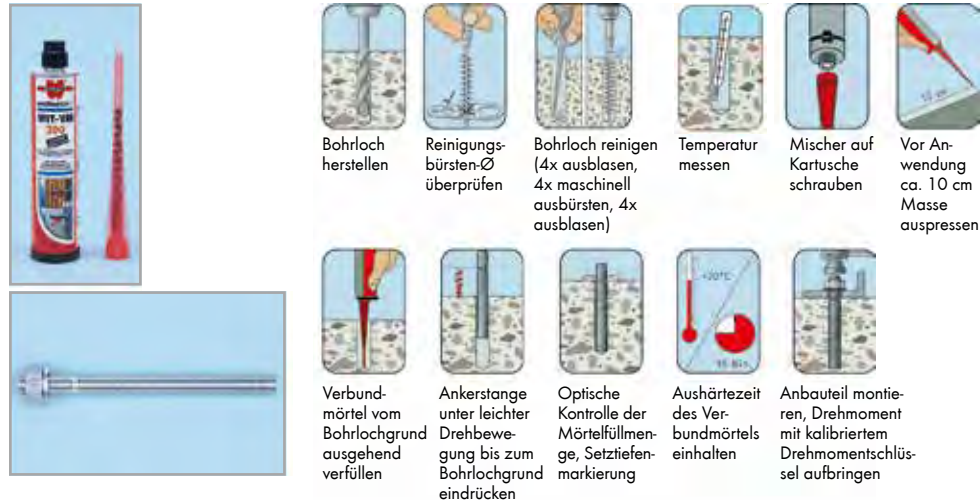
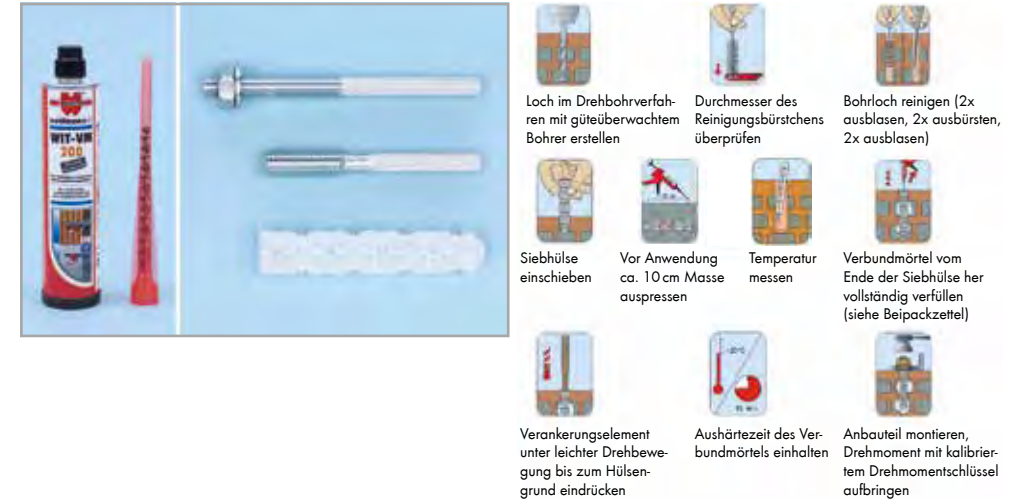


Bild 5.29: Vorsteckmontage eines Würth W-VI/S im ungerissenen Beton (ohne Siebhülse)

Das in Bild 5.30 dargestellte Injektionssystem besteht aus einer Siebhülse aus Kunststoff, einer Gewindestange mit Mutter und Zentrierring bzw. einer Innengewindehülse und in Kartuschen vorkonfektioniertem Injektionsmörtel auf organischer Basis. Es ist für Anwendungen in Hohlmauerwerk zugelassen. Die Siebhülse wird bündig mit der Steinoberfläche in das Bohrloch gesetzt und daraufhin vollständig mit Injektionsmörtel ausgefüllt. In die vermörtelte Siebhülse wird die Gewindestange bis zum Siebhülsegrund bzw. die Innengewindehülse bündig von Hand in die Siebhülse gedrückt. Der Injektionsmörtel wird dabei durch die Maschen der Siebhülse gedrängt, gelangt in die angebohrten Hohlkammern der Steine und führt so eine Verzahnung mit dem Verankerungsgrund herbei. Die Montage des Anbauteils darf erst nach Ablauf der vorgeschriebenen Aushärtezeit erfolgen.



05

Bild 5.30: Vorsteckmontage eines Würth WIT-VM 200 in Mauerwerk (mit Siebhülse)

5.4.7 Spezialdübel

Die Mehrzahl der Spezialdübel wird in der Baupraxis in nicht zulassungspflichtigen Bereichen eingesetzt. Dazu bietet Würth z. B. auf die Anwendung abgestimmte Kunststoffdübel, Nageldübel und Spezialdübel für Blechenerarbeiten, die Elektro-, Heizungs- und Sanitärinstallation, die Fenstermontage, zur Befestigung von Wärmedämmschichten und zahlreiche weitere Anwendungen am Gebäude. Die Vielfalt der vorhandenen Spezialdübel macht eine Beschreibung in diesem Rahmen unmöglich. Detaillierte Informationen erhalten Sie von den Würth-Fachleuten.

5.5 Grundsätzliche Regeln für die Montage

Bevor der Monteur das Produkt beschafft und einsetzt, hat er sich anhand von Herstellerangaben und Zulassungsbescheiden über das zu verwendende Produkt zu informieren. Beim Lesen der Zulassung im Hinblick auf die Montage sind folgende Punkte besonders hervorzuheben:

- Von der Titelseite des Zulassungsbescheids sind zu entnehmen:
 - Zulassungsnummer
 - Antragsteller (Dübelhersteller)
 - Zulassungsgegenstand (Dübel, Produktname)
 - Gültigkeitsdauer der Zulassung (Produkte mit abgelaufener Zulassung dürfen nicht im bauaufsichtlich relevanten Bereich angewendet werden)
- Besondere Bestimmungen
 - Zulassungsgegenstand und Anwendungsbereich
 - Beschreibung des Produkts in seinen Bestandteilen und seiner Funktionsweise
 - Überprüfung, ob der gelieferte Dübel mit der Beschreibung übereinstimmt
 - Beschreibung des Anwendungsbereichs: ungerissener Beton, gerissener und ungerissener Beton sowie Betonfestigkeit oder Mauerwerk

- Überprüfung, ob der vorgesehene Dübel in dem beschriebenen Verankerungsgrund verwendet werden darf
- Klimatische Bedingungen: trockener Innenraum (galvanisch verzinkt), Feuchtraum (z. B. A4-Stahl) oder Anwendung im Freien (z. B. A4-Stahl oder HCR-Stahl)
 - Überprüfung, ob das Dübelmaterial für den Einsatzzweck geeignet ist
 - Bestimmungen für das Bauprodukt
 - Der Dübel muss mit seinen Eigenschaften und der Zusammensetzung mit den Zeichnungen und Angaben des Zulassungsbescheids übereinstimmen
 - Überprüfung der Übereinstimmung
 - Verpackung, Lagerung und Kennzeichnung
 - Der Dübel darf nur als Befestigungseinheit verpackt und geliefert werden
 - Überprüfung, ob das „Ü-Zeichen“ bzw. „CE-Zeichen“ vorhanden ist und ob der Dübel die erforderlichen Markierungen bzw. Bezeichnungen aufweist (z. B. W-FAZ, M12 und A4)
 - Bestimmungen für Entwurf und Bemessung
 - Der Dübel darf nur mit dem in dem jeweiligen Zulassungsbescheid angegebenen Bemessungsverfahren bemessen werden
 - Bestimmungen für die Ausführung
 - Der Dübel darf nur als Befestigungseinheit verwendet werden. Einzelteile dürfen nicht ausgetauscht werden; die Art und Festigkeit des Verankerungsgrunds ist vor dem Setzen zu überprüfen
 - Überprüfung, ob der vorhandene Verankerungsgrund mit den Anwendungsgrenzen aus dem Zulassungsbescheid übereinstimmt (z. B. Plan des Statikers)
 - Bohrlochherstellung
 - Es darf nur das angegebene Bohrverfahren (Hammer- bzw. Drehbohren) mit dem vorgeschriebenen Bohrwerkzeug (z. B. Bundbohrer) mit der Prüfmärke der Prüfgemeinschaft Mauerbohrer e. V. Remscheid verwendet werden
 - Überprüfung, ob das Prüfzeichen auf dem Bohrer vorhanden ist
 - Bewehrung darf nicht beschädigt oder durchtrennt werden
 - Das Bohrmehl ist aus dem Bohrloch zu entfernen
 - Bei Fehlbohrungen sind in dem in der Zulassung angegebenen Abstand neue Bohrungen zu erstellen
 - Setzen des Dübels
 - Das Bohrloch ist rechtwinklig zur Betonoberfläche zu bohren
 - Die Bohrlochtiefe nach Zulassungsbescheid ist einzuhalten
 - Der Dübel ist mit den vorgeschriebenen Setzwerkzeugen (Drehmomentschlüssel und Einschlagwerkzeug) zu montieren
 - Die ordnungsgemäße Verankerung ist nach den Angaben des Zulassungsbescheids zu überprüfen (z. B. Probelastung)
 - Kontrolle der Ausführung
 - Bei der Herstellung der Dübelverankerung muss der mit der Verankerung von Dübeln betraute Unternehmer oder der von ihm beauftragte fachkundige Vertreter auf der Baustelle anwesend sein; er hat für die ordnungsgemäße Ausführung der Arbeiten zu sorgen
 - Er hat ein Montageprotokoll zu erstellen
 - Diese Aufzeichnungen sind mindestens fünf Jahre nach Abschluss der Arbeiten aufzubewahren

6 Tragverhalten von Dübeln

6.1 Allgemeines

Dübel leiten Lasten durch Reibschluss, Formschluss oder Stoffschluss in den Verankerungsgrund ein. Bei Reibschluss werden die Lasten über die durch das Verspreizen des Dübels erzeugte Reibung zwischen Dübel und Bohrlochwand in den Ankergrund übertragen. Mechanische Verzahnung zwischen Dübel und Ankergrund wird als Formschluss bezeichnet. Beim Wirkungsprinzip Stoffschluss wird die Last über Verbund der Ankerstange und Bohrloch durch Kunstharzmörtel in den Ankergrund eingeleitet. Einwirkende Lasten sind Normal- und Querkkräfte, deren Kombination sowie Biegemomente bei Abstandsmontage.

6.2 Hinterschnitt- und Metallspreizdübel

6.2.1 Zugbeanspruchung im ungerissenen Beton

Verankerungssysteme leiten äußere Lasten durch die vorher beschriebenen Verankerungsmechanismen in den Verankerungsgrund ein.

Da der Beton hierbei auf Zug beansprucht wird, wird in vielen Fällen das Versagen durch Überschreiten der lokalen Zugfestigkeit des Betons herbeigeführt. Unter Zugbelastung entsteht ein kegelförmiger Betonausbruch mit einer Neigung von ca. 35° (Bild 6.1). Aufgrund dieses Winkels tritt bei Randabständen $\geq 1,5 h_{ef}$ und Achsabständen $\geq 3 h_{ef}$ keine Beeinflussung durch Bauteilränder oder benachbarte Dübel auf.



Bild 6.1: Betonausbruchkegel eines auf Zug beanspruchten Metallspreizdübels

Zusätzlich können die in Bild 6.2 gezeigten Versagensarten auftreten.

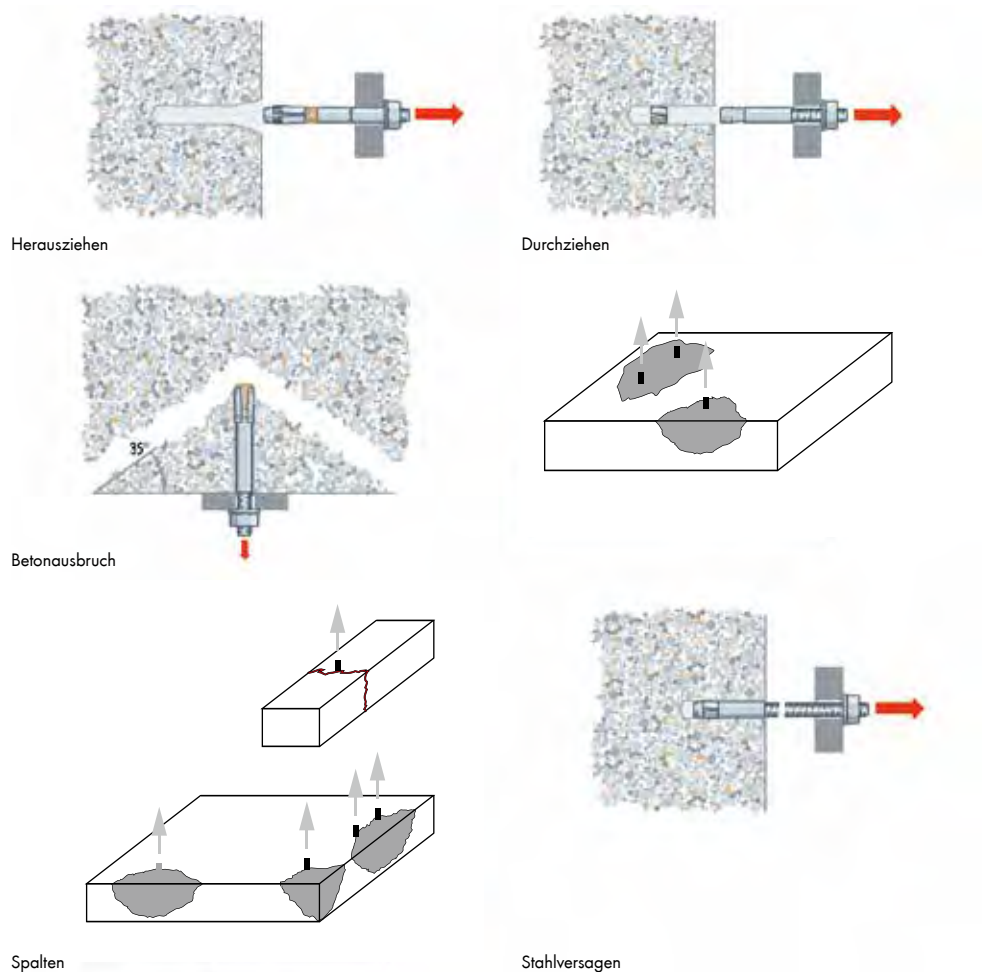


Bild 6.2: Brucharten bei Zugbeanspruchung

■ Herausziehen

Die Versagensart Herausziehen tritt auf, wenn die Reibungskräfte zwischen Spreizelement und Bohrlochwandung kleiner sind als die angreifenden äußeren Zugkräfte. Das Verankerungselement wird dann aus dem Bohrloch herausgezogen. Hierbei kann der oberflächennahe Beton geschädigt werden. Bei wegkontrolliert spreizenden Dübeln kommt diese Versagensart dann vor, wenn der Konus nicht richtig in die Hülse eingeschlagen ist und deshalb die vorhandene Spreizkraft nicht ausreicht, den Dübel bis zum Erreichen der Betonausbruchslast in seiner Position zu halten.

Bei drehmomentkontrolliert spreizenden Dübeln kann diese Versagensart ebenfalls auftreten, wenn das Verankerungselement nicht ordnungsgemäß nachspreizt. Bei Kopfbolzen und Hinterschnittdübeln wird Herausziehen festgestellt, wenn die mechanische Verzahnung zu gering ist. Der charakteristische Widerstand für die Versagensart Herausziehen ist den Zulassungsbescheiden zu entnehmen.

■ Durchziehen

Bei drehmomentkontrolliert spreizenden Dübeln kann der Konus bei Belastung durch die Spreizhülse hindurchgezogen werden, wobei die Spreizhülse im Bohrloch verbleibt. Bei einem solchen Versagensbild spricht man von Durchziehen.

Der charakteristische Widerstand für die Versagensart Durchziehen ist den Zulassungsbescheiden zu entnehmen.

■ Betonausbruch

Betonausbruch entsteht, wenn bei zentrischer Zugbelastung des Dübels die örtlich aufnehmbare Zugspannung des Betons überschritten wird. Bei Spreizdübeln ist dies der Fall, wenn die Reibkraft zwischen Bohrlochwand und Spreizhülse größer ist als die aufnehmbare lokale Zugfestigkeit des Betons.

Bei Hinterschnittankern und Kopfbolzen wird diese Versagensart ebenfalls beobachtet, wenn die hinterschnittene Fläche, d. h. die Aufstandsfläche groß genug ist.

Wegkontrolliert spreizende Dübel versagen aufgrund ihrer im Allgemeinen recht geringen Verankerungstiefe und relativ hoher Spreizkräfte sehr häufig durch Betonausbruch.

■ Spalten

Spalten des Betons kann sowohl bei der Montage als auch unter Belastung auftreten, wenn die Bauteilabmessungen oder die Rand- beziehungsweise Achsabstände zu gering sind. Die Mindestabmessungen sind den Zulassungen bzw. den Herstellerunterlagen zu entnehmen.

■ Stahlversagen

Der Bruch des Bolzens oder der Schraube eines auf Zug belasteten Ankers wird als Stahlversagen bezeichnet. Die Stahlbruchlast stellt die obere Grenze der erreichbaren Tragfähigkeit dar. Der charakteristische Widerstand ist der Zulassung zu entnehmen.

Jede der o. g. Versagensarten ist durch ein unterschiedliches Last-Verschiebungsverhalten gekennzeichnet (Bild 6.3).

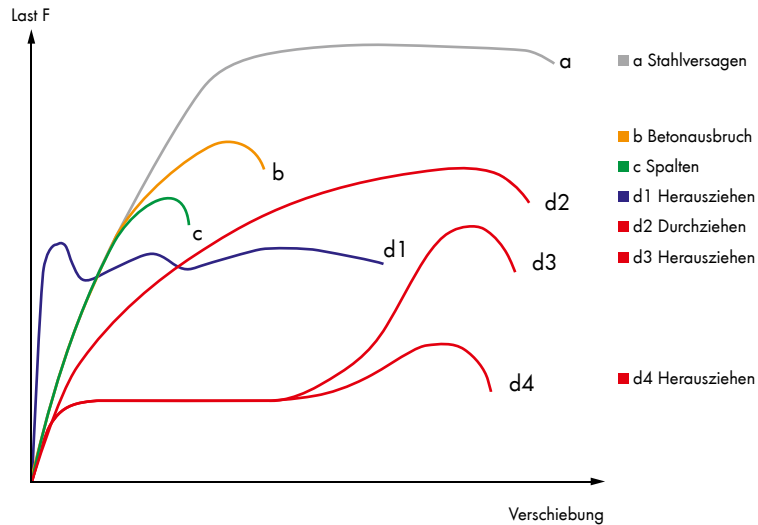


Bild 6.3: Idealierte Last-Verschiebungskurven von zugbeanspruchten Dübeln bei verschiedenen Versagensarten [59]

Im ungerissenen Beton wird die höchste Versagenslast für Betonausbruch erreicht, wenn das Verankerungselement nicht durch Bauteilränder bzw. benachbarte Dübel beeinflusst wird, da sich dann ein ungestörter, rotationssymmetrischer Spannungszustand ausbilden kann. Die Auswertung von vielen Versuchen ergab, dass die mittleren Höchstlasten bei Betonausbruch unabhängig vom Dübeltyp proportional zu $h_{ef}^{1,5}$ und $\sqrt{f_{cc}}$ (Bild 6.4) ansteigen. Die auf dieser Grundlage basierenden Bemessungsformeln für die Versagensart Betonausbruch sind in Kapitel 10 erläutert.

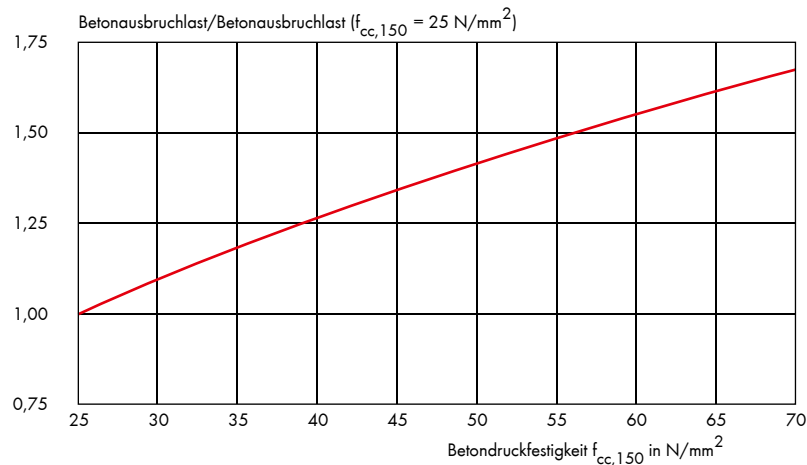


Bild 6.4: Erhöhung der Betonausbruchlast von Metallspreiz- und Hinterschnittdübeln unter zentrischer Zugbeanspruchung in Abhängigkeit von der Betondruckfestigkeit



Bild 6.5: Betonausbruchkegel einer Einfachbefestigung

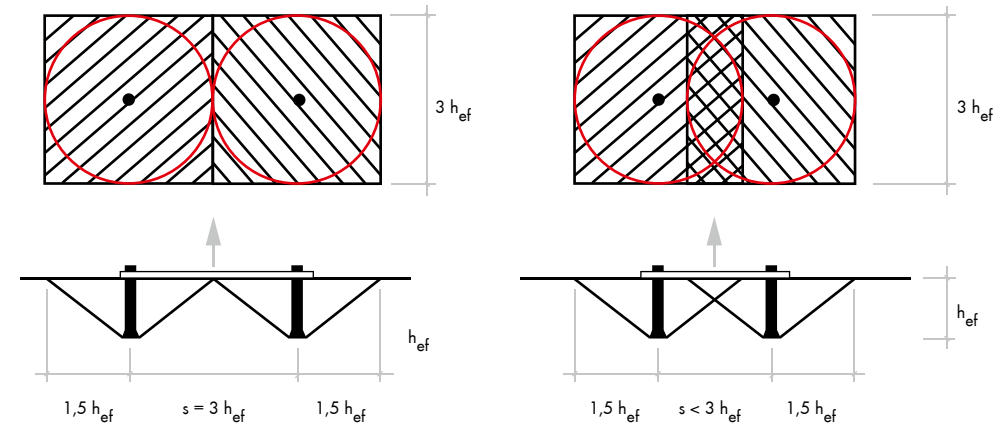


Bild 6.6: Einfluss des Achsabstands auf die Form des Betonausbruchkörpers [60]

Der Durchmesser des Ausbruchkegels beträgt bei einer Neigung des Bruchkegels von 35° ca. das 3-Fache der Verankerungstiefe. Dies ergibt einen kritischen Achsabstand von $s = 3 h_{ef}$, bei dem gerade keine Überschneidung der Bruchkegel und damit keine gegenseitige Beeinflussung der Dübel auftritt. Ist der Abstand kleiner als dieser Wert, überschneiden sich die Betonausbruchkörper und die resultierende Gesamtlast der Gruppe ist kleiner als der größtmögliche Wert (vgl. Bild 6.6). In Bild 6.7 ist die Laststeigerung der Betonausbruchlast einer symmetrischen Vierfachbefestigung mit zunehmendem Achsabstand dargestellt. Bei Achsabständen von $s \geq 3 h_{ef}$ ergibt sich keine weitere Laststeigerung, da vier einzelne Betonausbruchkegel entstehen.

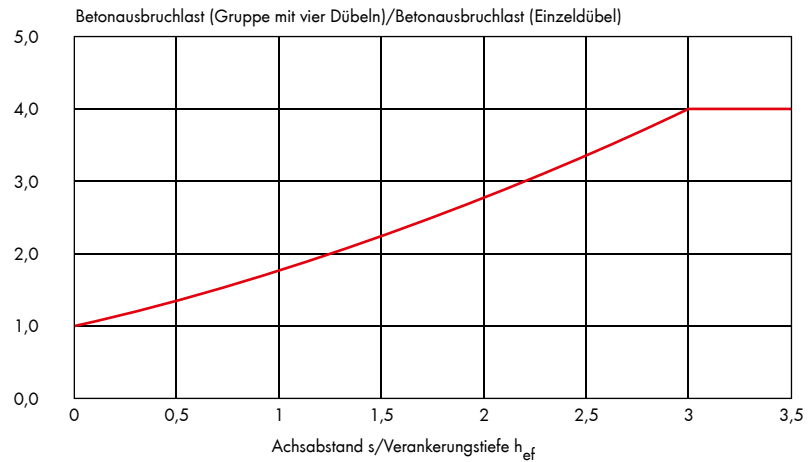


Bild 6.7: Betonausbruchlast einer Vierfachbefestigung, bezogen auf die Last einer Einzelbefestigung in Abhängigkeit vom Achsabstand

Wird ein Verankerungselement mit einem geringeren Wert als dem kritischen Randabstand $c = 1,5 h_{ef}$ an einen Bauteilrand gesetzt, reduziert sich die Höchstlast der Verankerung ebenfalls. Die Größe des möglichen Betonausbruchkegels nimmt gegenüber dem Betonausbruchkegel in der Bauteilfläche ab (Bild 6.8 und Bild 6.9), da sich auch hier der rotationssymmetrische (kreisförmige) Spannungszustand wegen des Rands nicht voll ausbilden kann.

Je größer die Beeinflussung durch Ränder ist, desto größer ist diese Abnahme gegenüber der Höchstlast eines „ungestörten“ Dübels. Die Höhe der Lastabnahme in Abhängigkeit vom Randabstand zeigen Bild 6.10a (Bauteilrand) und Bild 6.10b (Bauteilecke).

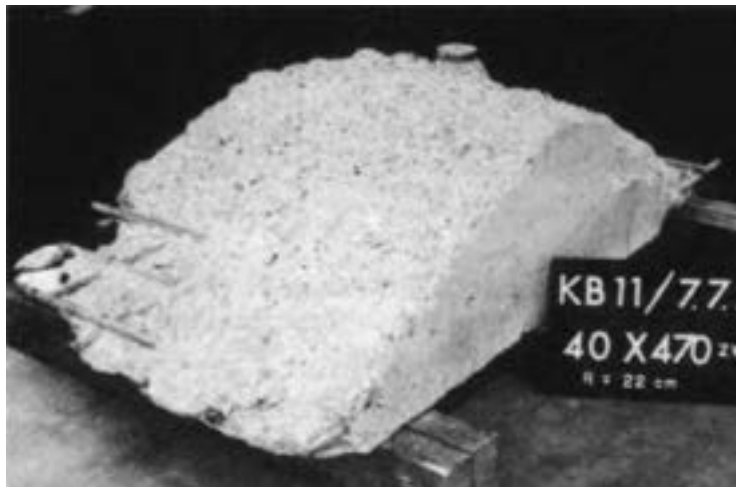


Bild 6.8: Betonausbruchkörper eines Kopfbolzens am Bauteilrand [58]

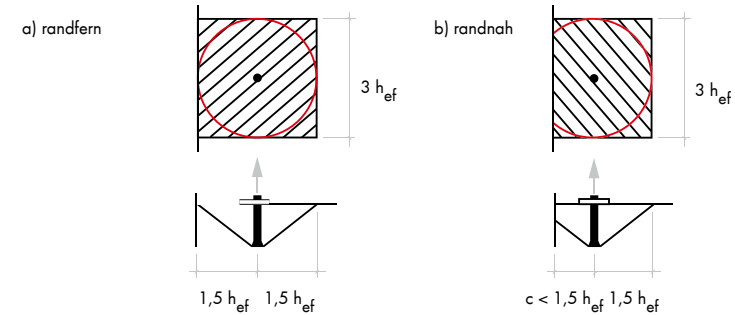
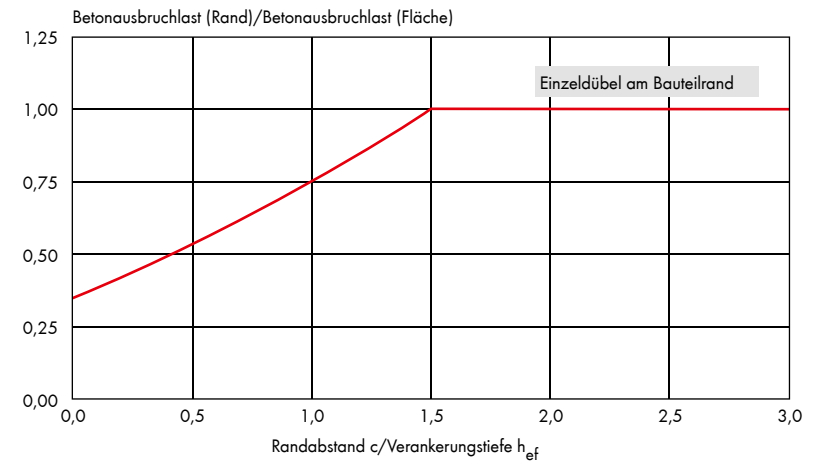
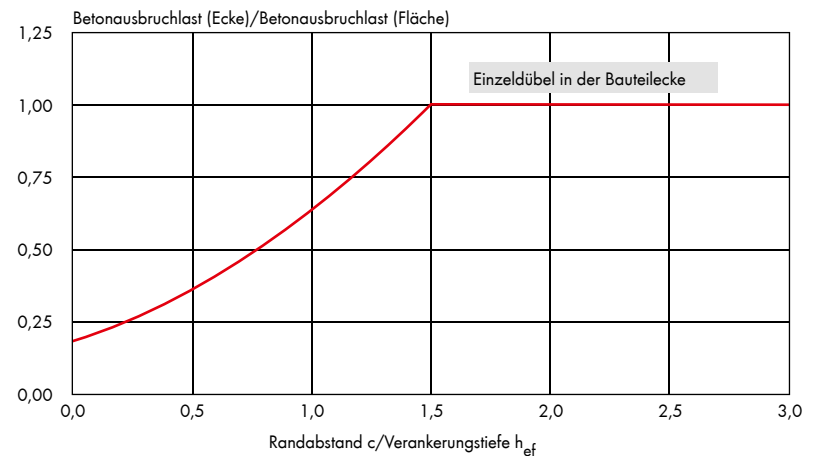


Bild 6.9: Einfluss des Randabstandes auf die Form des Betonausbruchkörpers [60]



a) Einfluss des Randabstands (Bauteilrand)

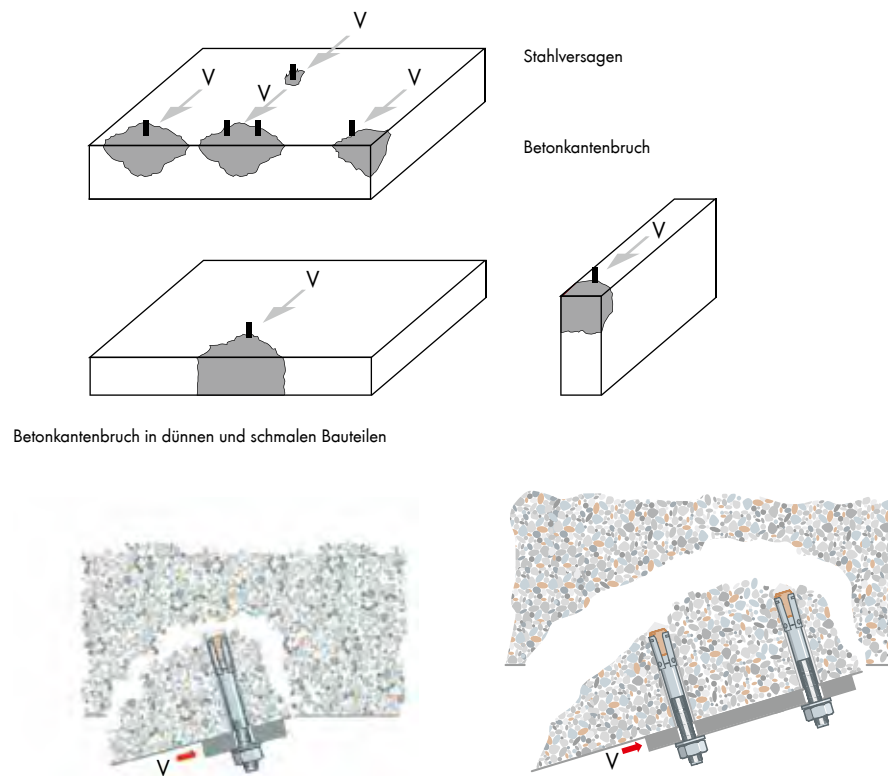


b) Einfluss des Randabstands (Bauteilecke)

Bild 6.10: Betonausbruchlast einer Einzelbefestigung a) am Bauteilrand und b) in der Bauteilecke, bezogen auf die Last einer Einzelbefestigung in der Bauteilfläche in Abhängigkeit vom Randabstand

6.2.2 Querbeanspruchung im ungerissenen Beton

Die möglichen Versagensarten von querbeanspruchten Befestigungen sind in Bild 6.11 dargestellt.



Betonausbruch auf der lastabgewandten Seite

Bild 6.11: Versagensarten bei Querbeanspruchung

- **Stahlversagen**
Stahlversagen tritt unter Querbelastung bei Verankerungen mit großen Randabständen auf. Dabei wird kurz vor Erreichen der Höchstlast meist eine muschelförmige Abplatzung des oberflächennahen Betons beobachtet. Die Tiefe der Muschel unmittelbar vor dem Dübel entspricht etwa dem Dübeldurchmesser.
- **Betonkantenbruch**
Ist eine Verankerung nahe eines Rands oder in einer Bauteilecke und wirkt die Querkraft in Richtung der Bauteilkante, so kann es zur Versagensart Betonkantenbruch kommen.
- **Betonausbruch auf der lastabgewandten Seite**
Diese Versagensart tritt bei querbelasteten Verankerungselementen mit geringer Setztiefe auf, die in der Fläche verankert sind. Bei Gruppenbefestigungen entsteht ein gemeinsamer Ausbruchkörper.

- **Herausziehen (nicht dargestellt)**
Nur bei Spreizdübeln, bei denen die Spreizkraft zur Aufnahme der durch die Querverformung verursachten Zugkraft nicht ausreicht, tritt Herausziehen als Versagensursache auf. Bei zugelassenen Systemen tritt diese Versagensart in der Regel nicht auf.

Das Durchgangsloch im anzuschließenden Bauteil darf die Werte der zulässigen Durchmesser d_f (nach Tabelle 5.1) nicht überschreiten. Eine auf alle Dübel gleichmäßig verteilte Querlast, wie in Bild 6.12 dargestellt, tritt in der Praxis nur in wenigen Fällen auf. Die Verteilung der Querlast hängt ab von

- der Größe des Lochspiels,
- der Lage der Dübel in den Löchern (mit oder ohne Kontakt zum Anbauteil) und
- vom Verformungsverhalten der Dübel.

Die reale Lastverteilung ist rechnerisch nur schwierig zu ermitteln. Deshalb wird für randnahe, querbelastete Befestigungen nach [52] angenommen, dass die gesamte Querkraft bei Zweiergruppen mit in Lastrichtung hintereinander liegenden Dübeln nur von einem und bei Vierergruppen von zwei Dübeln aufgenommen wird (Bild 6.13).

Greift bei einer Zweiergruppe die Querlast senkrecht zur Verbindungsline der beiden Dübel an und kann sich die Ankerplatte verdrehen, dann beteiligen sich beide Dübel an der Querlastaufnahme. Kann sich die Ankerplatte nicht verdrehen, nimmt der am Anbauteil anliegende Dübel die gesamte Querkraft auf. Dabei muss berücksichtigt werden, dass die Anbaukonstruktion das entstehende Versatzmoment aufnehmen kann. Nach [18] darf bei zu großem Durchgangsloch im Anbauteil davon ausgegangen werden, dass sich alle Dübel an der Lastaufnahme beteiligen (Bild 6.14). Allerdings ist zu berücksichtigen, dass alle Dübel durch die Querlast zusätzlich auf Biegung beansprucht werden. Dies führt zu einer wesentlichen Reduzierung der aufnehmbaren Last.

Durch entsprechende Anordnung von Langlöchern lässt sich die Lastübertragung auf Dübel gezielt steuern (Bild 6.15).

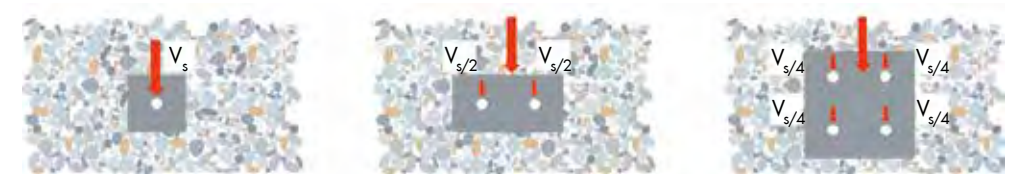


Bild 6.12: Beispiele für die Verteilung der Last, wenn alle Dübel Querlasten aufnehmen

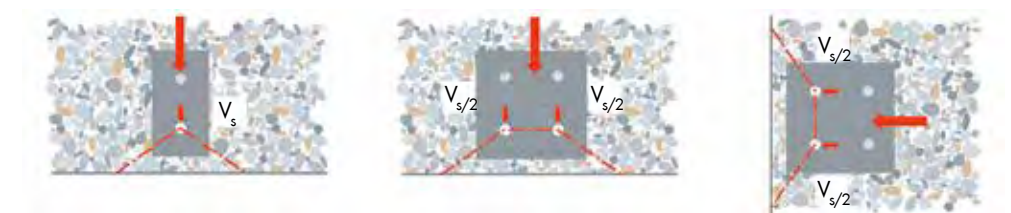


Bild 6.13: Beispiele für die Verteilung der Last bei Verankerungen nahe am Bauteilrand

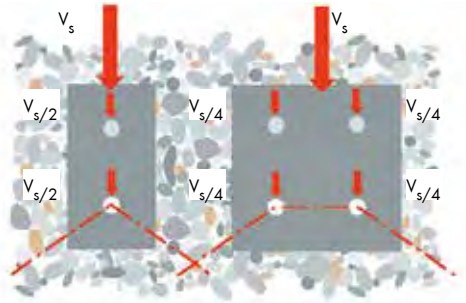


Bild 6.14: Beispiele für die Verteilung der Last, wenn der Lochdurchmesser größer ist als der in [18] und [52] angegebene Wert (Bemessung auf Biegung)

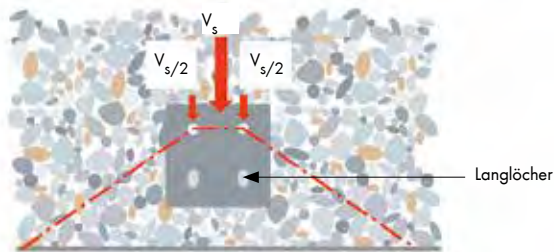
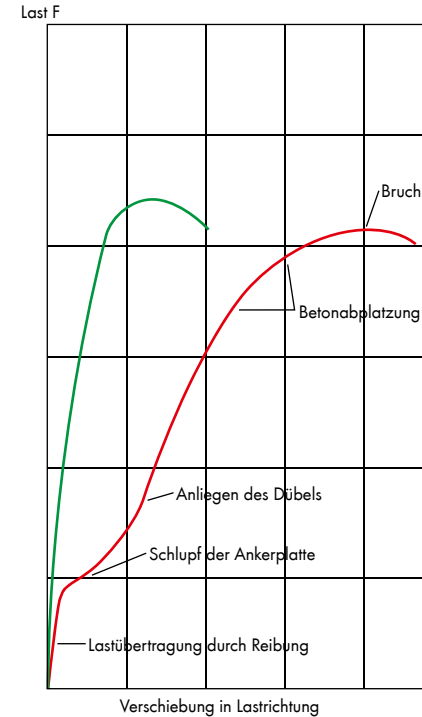


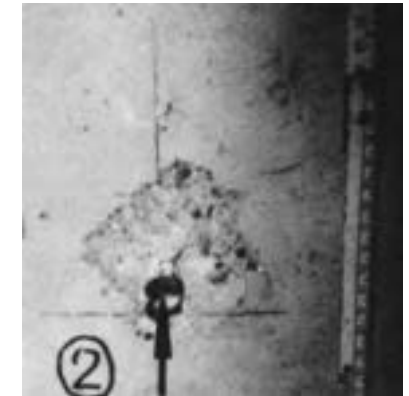
Bild 6.15: Beispiel für die Verteilung der Last bei einer Verankerung mit Langlöchern

Bild 6.16a zeigt eine typische Last-Verschiebungskurve einer gegen den Verankerungsgrund vorgespannten und durch eine Querlast beanspruchten Dübelverbindung mit großem Randabstand. Die Querlast wird nach Überwindung der Reibung zwischen Ankerplatte und Beton und Überbrückung des Lochspiels des Dübels im Durchgangsloch der Ankerplatte an die lastabgewandte Seite des Bohrlochs übertragen. Mit zunehmender Querlast wachsen die Leibungspressungen im Bereich des Bohrlochmunds an und es kommt zu muschelförmigen Betonabplatzungen vor dem Dübel. Bei weiterer Laststeigerung und ausreichend großem Randabstand schert der Dübel ab. Zum Vergleich ist das Last-Verschiebungsverhalten unter Zug eingetragen.



a)

Bild 6.16: a) Typische Last-Verschiebungslinien von Dübeln unter Zug- und Querbeanspruchung [79]
b) Bruchbild eines randfernen Dübels nach Querbeanspruchung [45]



b)

Randnahe Befestigungen können vor Erreichen der Stahltragfähigkeit durch Bruch des Betons versagen (vgl. Bild 6.17). Die Betonkantenbruchlast wird wesentlich vom Randabstand in Lastrichtung ($c_1^{1,5}$) beeinflusst, weil dieser – wie bei zentrischer Zugbeanspruchung – die Größe des Betonausbruchkörpers bestimmt (Bild 6.18). Die Höchstlast steigt proportional zu $c_1^{1,5}$ an.



Bild 6.17: Betonbruch eines randnahen Dübels unter Querbeanspruchung zum Rand [61]

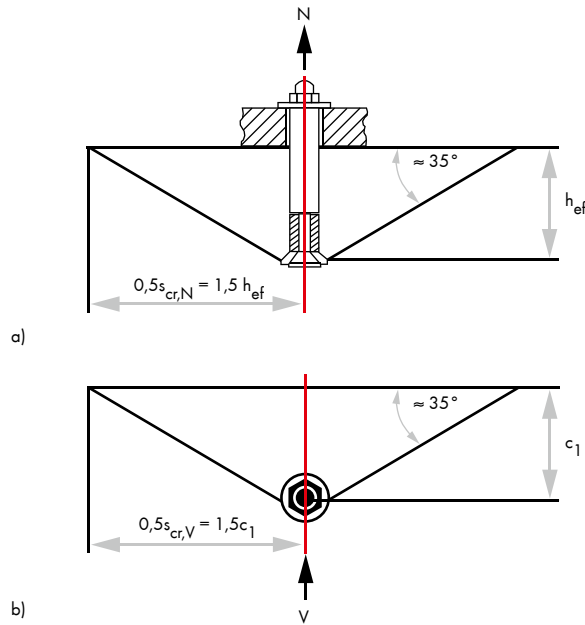


Bild 6.18: Vergleich der Betonausbruchkörper [60]: a) zentrische Zugbelastung, b) Querlastbeanspruchung zum Bauteilrand

6.2.3 Kombinierte Zug- und Querbeanspruchung im ungerissenen Beton

Das Tragverhalten von Befestigungen unter einer kombinierten Zug- und Querbeanspruchung liegt zwischen dem Verhalten bei zentrischem Zug und dem bei Querbeanspruchung. Sie wird durch den Winkel der angreifenden Last beeinflusst. Unter Schrägzugbeanspruchung treten dieselben Versagensarten wie unter Zug- bzw. Querbeanspruchung auf. Folgende Versagenskombinationen a) bis d) können auftreten:

	Zuglast	Querlast
a)	Stahlbruch	Stahlbruch
b)	Betonbruch	Stahlbruch
c)	Betonbruch	Betonbruch
d)	Stahlbruch	Betonbruch

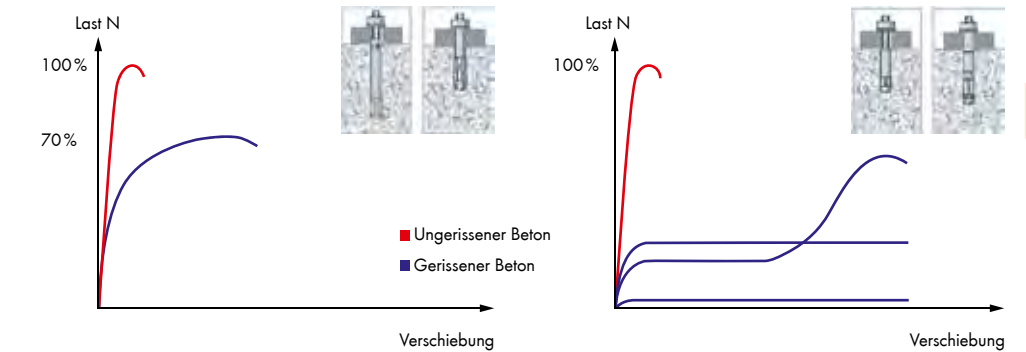
Tabelle 6.1: Kombinationen der Versagensarten bei Zug- und Querbelastung

Alle o. g. Lastkombinationen können auf der sicheren Seite liegend durch eine trilineare Interaktionsgleichung beschrieben werden. Diese Gleichungen wird in Kapitel 10 erläutert.

6.2.4 Zugbeanspruchung im gerissenen Beton

Hinterschnittsysteme mit ausreichendem Hinterschnitt funktionieren gut in Rissen, da das Übermaß des konischen Teils bzw. das Gewinde bei Schraubankern das Herausziehen des Ankers im aufgehenden Riss verhindert. Ristaugliche Metallspreiz- und Verbund-Spreizdübel passen sich der Erweiterung des Bohrlochs durch einen Riss automatisch an. Das Last-Verschiebungsverhalten von ristauglichen und nicht ristauglichen drehmomentkontrolliert spreizenden Dübeln wird durch das Nachspreizverhalten bestimmt. Ristaugliche

Spreizdübel weisen ein ähnliches Last-Verschiebungsverhalten wie Hinterschnittdübel auf (Bild 6.19a). Sie funktionieren, weil sich der Konus mit zunehmender Rissbreite in die Spreizelemente einzieht (Nachspreizen). Nicht ristaugliche Spreizdübel versagen gegenüber Betonausbruch bei deutlich geringeren Lasten. Ein Nachspreizen erfolgt meist nicht und der Dübel weist bereits bei sehr geringen Lasten große Verschiebungen auf (Bild 6.19b).



a) für Verankerungen im ungerissenen und gerissenen Beton geeigneter Dübel

b) für Verankerungen im ungerissenen Beton geeigneter Dübel und im gerissenen Beton nicht geeigneter Dübel (Nachspreizschwierigkeiten)

Bild 6.19: Schematische Last-Verschiebungskurven von drehmomentkontrolliert spreizenden Dübeln in ungerissenem und gerissenem Beton bei zentrischer Zugbeanspruchung [45]

Dieses fehlende Nachspreizverhalten tritt generell bei wegkontrolliert spreizenden Dübeln auf. Werden die Einschlagdübel voll verspreizt, ergeben sich im gerissenen Beton flachere Last-Verschiebungsverläufe und deutliche Lastabnahmen gegenüber ungerissenem Beton. Diese Tendenz ist noch stärker bei unvollständig verspreizten Einschlagdübeln.

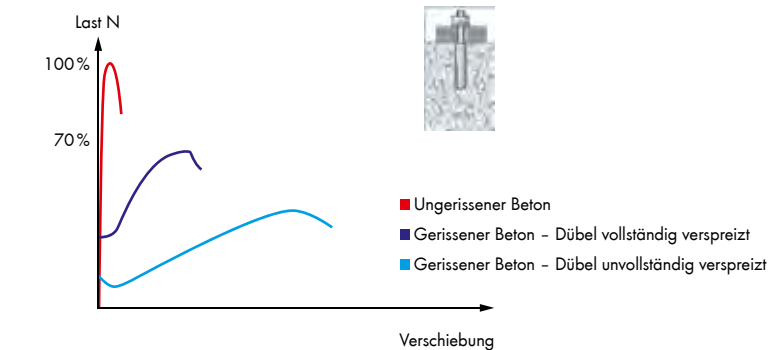


Bild 6.20: Schematische Last-Verschiebungskurven von Einschlagdübeln in ungerissenem und gerissenem Beton [45]

Im gerissenen Beton nimmt die Tragfähigkeit aller Verankerungssysteme gegenüber derjenigen im ungerissenen Beton ab. Die Abnahme der Höchstlasten bei Rissbreiten von ca. 0,3 mm beträgt mindestens 30 % bei ristauglichen Systemen und kann bei nicht ristauglichen Systemen eine Abnahme von 90 % und mehr

erreichen. Diese Reduktion hängt bei drehmomentkontrolliert spreizenden Verankerungssystemen wesentlich vom Nachspreizverhalten des jeweiligen Verankerungselements ab.

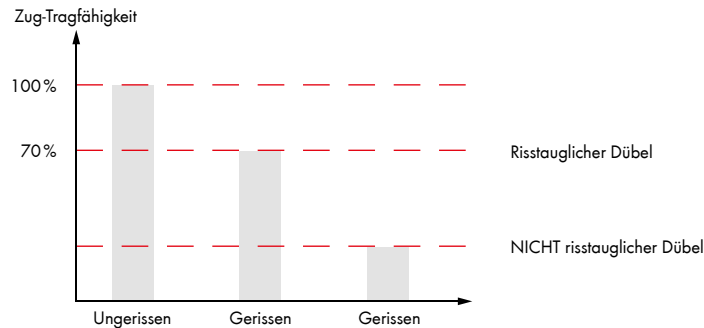


Bild 6.21: Tragfähigkeit von Verankerungen im ungerissenen/gerissenen Beton

Daher sind nicht risstaugliche Dübel als Einzelbefestigung im gerissenen Beton nicht zugelassen. Allerdings dürfen einige dieser Dübel, die bei Verankerungen in geringen Rissbreiten noch funktionieren, als redundante Befestigungen (Mehrfachbefestigungen) wie beispielsweise Deckenabhängiger oder Fassadenbefestigungen eingesetzt werden.

6.2.5 Querbeanspruchung im gerissenen Beton

Das Tragverhalten unter Querlast hängt von der Lastrichtung in Bezug auf den Rissverlauf ab. Verläuft der Riss senkrecht zur Querlast, unterscheidet sich das Tragverhalten nicht wesentlich vom Tragverhalten im ungerissenen Beton. Bei Querlast parallel zum Rissverlauf sind die Verschiebungen in der Regel größer als im ungerissenen Beton.

Je nach Randabstand und Verankerungstiefe versagen querbelastete Befestigungen durch Stahlbruch, Betonausbruch auf der lastabgewandten Seite oder Betonkantenbruch.

Durch Querlasten beanspruchte Dübel mit großem Randabstand und ausreichender Verankerungstiefe versagen auch im gerissenen Beton durch Stahlbruch. Die Abminderung der Höchstlast durch Risse beträgt bei Stahlbruch weniger als 10 %.

Bei der Versagensart Betonausbruch auf der lastabgewandten Seite wird die Höchstlast im gleichen Maße beeinflusst wie die Betonausbruchlast unter Zugbeanspruchung, d.h., die Abnahme gegenüber dem für ungerissenen Beton geltenden Wert beträgt ca. 30 %. Dies gilt auch für Verankerungen am Bauteilrand und Belastung zur freien Kante hin (Versagensart Betonkantenbruch).

6.2.6 Kombinierte Zug- und Querbeanspruchung im gerissenen Beton

Bei risstauglichen Dübeln stimmt das im gerissenen Beton beobachtete Last-Verschiebungsverhalten prinzipiell mit dem im ungerissenen Beton überein. Im gerissenen Beton werden dieselben Versagensarten beobachtet wie im ungerissenen Beton. Die Höchstlasten von risstauglichen Dübeln im gerissenen Beton unter kombinierter Zug- und Querbelastung können durch dieselben Interaktionsgleichungen beschrieben werden wie diejenigen im ungerissenen Beton (siehe Kapitel 10).

6.3 Schraubanker

6.3.1 Setzen in Beton

In der täglichen Praxis werden Schraubanker in der Regel mit elektrischen Tangential-Schlagschraubern eingedreht (Bild 6.22). Schraubanker können aber auch mit einer Umschaltknarre oder einem Drehmomentschlüssel gesetzt werden.



Bild 6.22: Montage eines Schraubankers mit einem Schlagschrauber [68]

Bild 6.23 zeigt einen typischen Verlauf des Drehmoments beim Eindrehen eines Schraubankers in Beton der Festigkeitsklasse C20/25 mit maximaler Korngröße von 8 mm Durchmesser. Als Versagensart ist hier ein Abscheren des Schraubankers (Stahlbruch) dargestellt. Man erkennt deutlich, dass das Drehmoment beim Eindrehen nur sehr gering schwankt. Erst bei Kopfauflage des Schraubankers auf dem Anbauteil steigt das Drehmoment stark an. Diese Zunahme des Drehmoments ist beim Setzen des Schraubankers mit einer Umschaltknarre bzw. einem Drehmomentschlüssel leicht feststellbar, da die Eindrehkraft augenblicklich sehr stark zunimmt, wenn der Kopf des Schraubankers auf dem Anbauteil anliegt.

Der Schraubanker ist dann korrekt montiert, wenn das Anbauteil gegen den Betonuntergrund angepresst wird und kein leichtes Weiterdrehen möglich ist. Wird das Drehmoment weiter gesteigert, wie in Bild 6.23 gezeigt, erfolgt ein plötzliches Abdrehen des Schraubankers (Stahlversagen). Bei Verwendung einer geringeren Setztiefe als in der jeweiligen Zulassung bzw. den Herstellerunterlagen angegeben oder bei Schraubankern mit großem Kerndurchmesser kann auch ein Abscheren der in den Beton geschnittenen Gewindegänge auftreten.

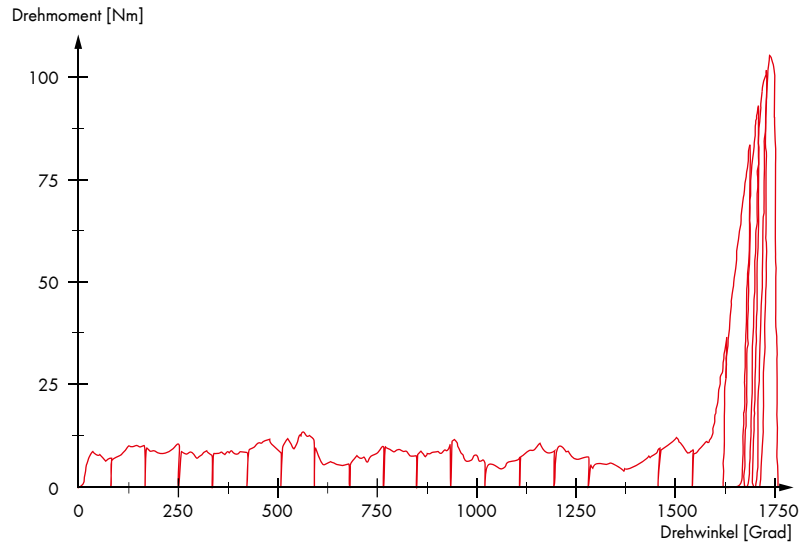


Bild 6.23: Typischer Drehmomentverlauf beim Setzen eines Schraubankers (Abdrehen des Schraubankers) [67]

Aus diesem Grund darf das vom Hersteller angegebene Drehmoment nicht überschritten werden. Bei der Montage mit einem Schlagschrauber ist von einer korrekten Montage auszugehen, wenn der Schraubankerkopf auf dem Anbauteil aufliegt, dieses gegen den Untergrund gepresst wird und kein Weiterdrehen des Steckschlüssels mehr beobachtet werden kann. Der Schlagschrauber ist dann abzuschalten und vom Schraubankerkopf zu entfernen. Bei der Montage ist weiter zu beachten, dass Schraubanker nur einmal verwendet werden dürfen, da die Schärfe des Schneidgewindes bei mehrfacher Nutzung abnimmt und das Schneidgewinde nur für einen einmaligen Einsatz ausgelegt ist. Dies führt bei einer Mehrfachverwendung dazu, dass das Gewinde nicht mehr korrekt in den Beton eingeschnitten wird und die volle Belastung nicht mehr in den Untergrund übertragen werden kann. Des Weiteren ist es nach Aussage des DIBt [19] nicht zulässig, einen Schraubanker zweimal in dasselbe Bohrloch einzudrehen, da dies zum Einschneiden eines zweiten Gewindgangs führen kann und somit die übertragbare Last stark herabgesetzt würde.

Das Schneideneckmaß des verwendeten Bohrers beeinflusst ebenfalls das zum Eindrehen des Schraubankers notwendige Drehmoment. Die maximal zulässigen Grenzen sind in den jeweiligen Zulassungen geregelt. Für Schraubanker mit einem Bohrerenddurchmesser von z.B. $d_0 = 10$ mm darf gemäß der Zulassung ein Bohrer mit einem maximalen Schneideneckmaß von $d_{\text{cut}} = 10,45$ mm verwendet werden. Stark abgenutzte Bohrer erschweren das Setzen, da, wie in Bild 6.24 dargestellt, die Eindrehmomente bei Verwendung eines stark abgenutzten Bohrers ($d_{\text{cut}} = 10,0$ mm) deutlich höher sind als bei Verwendung eines neuen Bohrers ($d_{\text{cut}} = 10,3$ mm).

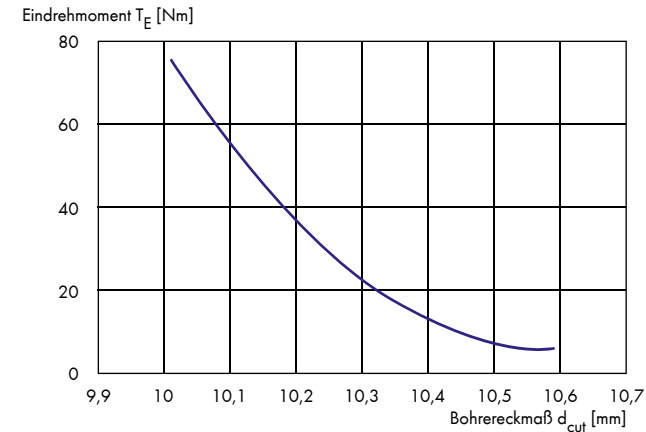


Bild 6.24: Einfluss des Bohrereckmaßes auf das Eindrehmoment in Beton [67]

Das Eindrehmoment steigt auch bei nicht gereinigtem Bohrloch deutlich an (Bild 6.25). Das Bohrmehl wird zwischen Bohrlochwandung und Schraubankerkern verpresst. Wird das Bohrloch nicht gereinigt, besteht außerdem die Gefahr, dass der Schraubanker nicht vollständig in das Bohrloch eingedreht (Bohrlochtiefe wird durch das im Bohrloch vorhandene Bohrmehl reduziert) und somit das Anbauteil nicht gegen den Untergrund angepresst wird.

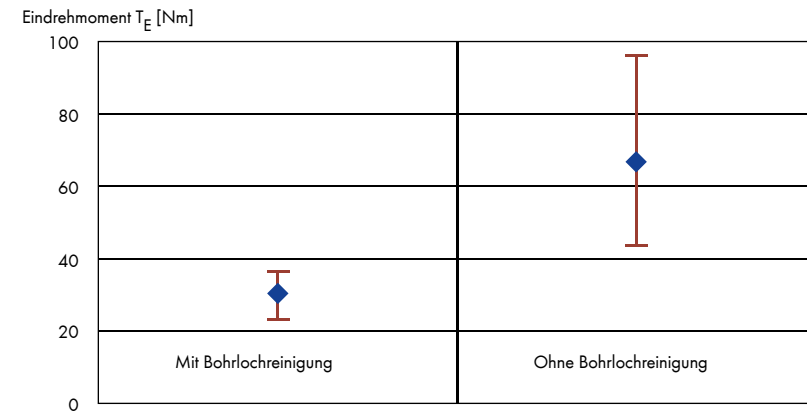


Bild 6.25: Einfluss der Bohrlochreinigung auf das Eindrehmoment T_E von Schraubankern in Beton [67]

6.3.2 Zugbeanspruchung im ungerissenen Beton

Bei Schraubankern treten im Regelfall ähnliche Versagensarten auf wie bei Bolzen- oder Hinterschnittankern. Bei einer geringen Verankerungstiefe und einem vollständigen Gewinde über die gesamte Verankerungstiefe tritt Betonversagen über die gesamte Setztiefe auf (Bild 6.26a). Bei größerer Setztiefe reduziert sich die Tiefe des Betonausbruchs und es tritt eine Kombination aus Betonausbruch und Herausziehen auf (Bild 6.26b).



a)



b)

 Bild 6.26: Betonausbruch bei geringer Verankerungstiefe a) $h_{\text{nom}} = 50 \text{ mm}$ und b) $h_{\text{nom}} = 90 \text{ mm}$ [66]

6.3.3 Querbeanspruchung im ungerissenen Beton

Unter Querlast versagen Schraubanker wie Metallspreiz- und Hinterschnittdübel.

6.3.4 Kombinierte Zug- und Querbeanspruchung im ungerissenen Beton

Das Tragverhalten von Schraubankern im ungerissenen Beton unter einer kombinierten Zug- und Querbeanspruchung entspricht demjenigen von Metallspreiz- bzw. Hinterschnittdübeln. Dadurch können zur Bemessung dieselben Gleichungen verwendet werden (siehe Kapitel 10).

6.3.5 Zugbeanspruchung im gerissenen Beton

Werden Schraubanker im gerissenen Beton eingesetzt, wird durch den Riss im Beton die Hinterschnittfläche im Vergleich zum ungerissenen Beton reduziert. Dadurch wird, wie in Kapitel 6.2.4 beschrieben, für risstaugliche Metallspreiz- und Hinterschnittdübel die mittlere Höchstlast bei Rissbreiten von 0,3 mm um ca. 30 % reduziert und die Steifigkeit des Systems nimmt ab [67]. Das Last-Verschiebungsverhalten entspricht dem in Bild 6.19a schematisch dargestellten Verhalten.

6.4 Verbunddübel

6.4.1 Zugbeanspruchung im ungerissenen Beton

Bild 6.27 zeigt typische Bruchbilder von Einzeldübeln unter Zuglast. Bei kleiner Verankerungstiefe ($h_{\text{ef}} \approx 3d$ bis 5d) entsteht ein vom Ende der Verankerungstiefe ausgehender kegelförmiger Betonausbruch (Bild 6.27a). Bei größeren Verankerungstiefen wird meistens ein kombiniertes Versagen beobachtet. Am Bohrlochmund entsteht ein Ausbruchkegel mit einer Tiefe von ca. 2d bis 3d. Auf der restlichen Länge versagt der Verbund. Das Verbundversagen kann an der Grenzfläche zwischen Beton und Mörtel (Bild 6.27b), an der Grenzfläche zwischen Mörtel und Ankerstange (Bild 6.27c) oder als Mischversagen mit Bruch zwischen Beton und Mörtel im oberen und zwischen Mörtel und Ankerstange im unteren Bereich auftreten (Bild 6.27d). Bei großen Verankerungstiefen ist der Verbund so tragfähig, dass die Ankerstange versagt (Bild 6.27e). Bei Dübelgruppen mit engem Abstand kommt es zu einem gemeinsamen Betonausbruch und bei Befestigungen nahe am Rand oder in einer Ecke kann Betonkantenbruch oder Spalten des Betons auftreten.

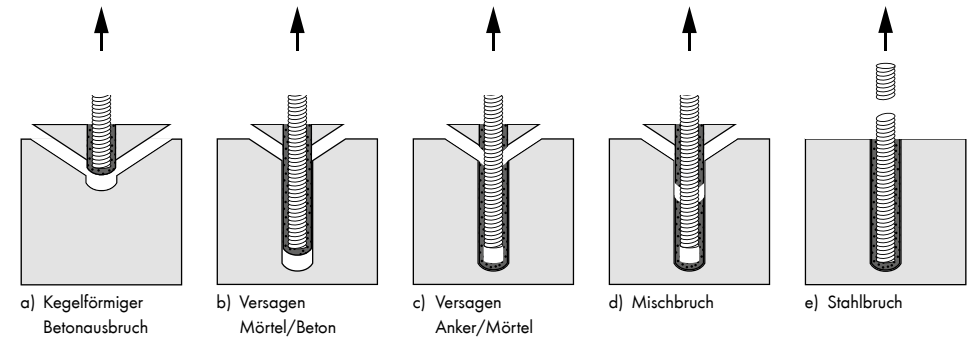


Bild 6.27: Versagensarten von Verbunddübeln unter Zuglast [10]

Die Verbundfestigkeiten hängen wesentlich von der Art des Mörtels ab. Die Verbundfestigkeit ist produktabhängig und der für ein Produkt ermittelte Wert kann nicht auf andere Produkte übertragen werden. Nach [10] ist die Verbundfestigkeit für die meisten Produkte unabhängig vom Durchmesser der Ankerstange. Allerdings können einzelne Produkte bei bestimmten Durchmessern auch deutlich niedrigere Festigkeiten aufweisen [72]. Der Einfluss der Betondruckfestigkeit auf die Verbundfestigkeit ist ebenfalls produktabhängig. Er ist im Allgemeinen gering. In der Regel kann die in einem Beton der Festigkeit $f_{\text{ck,cube}} \approx 25 \text{ N/mm}^2$ ermittelte Verbundfestigkeit für Betone bis zur Festigkeitsklasse C50/60 angewendet werden. Bei Verwendung von Verbunddübeln in Beton noch höherer Festigkeit kann die Verbundfestigkeit wegen der sehr glatten Bohrlochwand absinken.

Die angegebenen Verbundfestigkeiten gelten für trockenen Beton und mit Hammerbohrern erstellte Bohrlöcher, die bei geeigneter Raumtemperatur gebohrt und durch Ausbürsten und Ausblasen sorgfältig gereinigt wurden und deren Montage gemäß der Montageanleitung des Herstellers erfolgte. Wird bei Patronensystemen, die nach Montageanleitung schlagend/drehend gesetzt werden müssen, die Ankerstange nur eingeschlagen, dann wird der Mörtel nicht ausreichend gemischt und härtet daher nicht vollständig aus. Daraus können sich sehr niedrige Herausziehlaster ergeben.

Unabhängig von der Setzrichtung der Dübel (vertikal nach unten, vertikal nach oben und horizontal) verbleibt bei nicht sorgfältig gereinigten Bohrlochern Bohrmehl an der Bohrlochwand. Je nach Verbunddübelssystem kann sich die Bohrlochreinigung gering oder deutlich auf das Last-Verschiebungsverhalten und die Höchstlasten auswirken. Zu den weniger empfindlichen Arten gehören in der Regel Patronensysteme, bei denen die Ankerstange mit dem Bohrhammer drehend und schlagend eingetrieben wird, weil der Bohrstaub durch die Zuschlagstoffe von der Bohrlochwand abgerieben und in den Mörtel gemischt wird. Die Traglastminderung ist in der Regel $\leq 20\%$.

Bei Injektionssystemen hängt die Abnahme der Traglast bei fehlender Bohrlochreinigung von der Art des Harzes bzw. dessen Klebewirkung ab. Die Reduzierung der Tragfähigkeit ist produktabhängig und kann bis zu 60 % betragen [71] (Bild 6.28). Wichtig ist, dass bei Injektionssystemen das Bohrloch mit einer geeigneten Bürste gereinigt wird, weil allein durch Ausblasen mit einer üblichen Handpumpe das Bohrmehl nicht ausreichend von der Bohrlochwand entfernt wird.

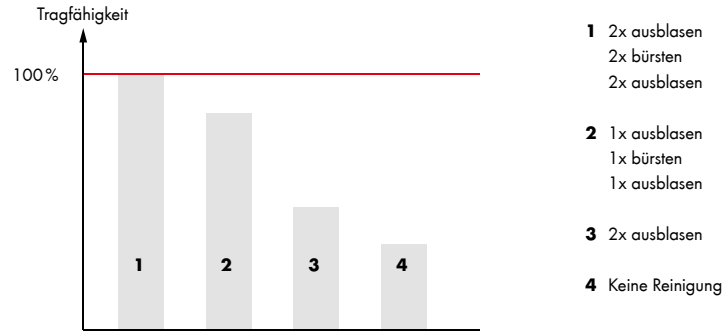


Bild 6.28: Einfluss der Reinigungsintensität auf die Höchstlasten von Injektionsdübeln M12 in trockenem Beton [71]



Bild 6.29: Schlechte Bohrlochreinigung bei Injektionsdübeln [72]

Bei durchfeuchtem Beton ist eine effektive Bohrlochreinigung besonders schwierig, weil das Bohrmehl fest an der Bohrlochwandung haftet. Weiterhin kann sich je nach Mörtelart das sich an der Bohrlochwand befindende Wasser ungünstig auf das Verbundverhalten auswirken. In nassem Beton hängt das Tragverhalten ebenfalls vom verwendeten Harzsystem ab.

Bei Patronensystemen auf der Basis von ungesättigten Polyesterharzen und von styrolhaltigen Vinylesterharzen ist die Minderung der Herausziehllast bei nassem Beton mit $\leq 20\%$ relativ gering. Bei anderen Harzsystemen, wie zum Beispiel styrolfreien Vinylesterharzen oder Epoxidharzen, kann die Abnahme der Höchstlast deutlich größer ausfallen. Diese Abnahme der Höchstlast wird durch eine nicht ausreichende Bohrlochreinigung bei Injektionssystemen je nach Harztyp noch verstärkt.

Wenn das Bohrloch zwar sorgfältig gereinigt, jedoch wassergefüllt ist, nimmt die Verbundfestigkeit ebenfalls ab. Es ergeben sich dann in etwa gleich hohe Verbundfestigkeiten wie bei einer Verankerung in durchfeuchtem Beton mit gut gereinigtem Bohrloch.

Die Verbundfestigkeit nimmt mit zunehmender Temperatur ab. Das Verhalten ist produktabhängig (Bild 6.30). Die Verbundfestigkeit beträgt bei Verbunddübeln auf der Basis eines ungesättigten Polyesterharzes bei 80°C noch etwa das 0,7-Fache des für 20°C geltenden Werts. Bei höheren Temperaturen fällt sie sehr schnell ab, weil die Glasübergangstemperatur erreicht wird. Bei Mörteln auf Basis eines Vinylesters beträgt die Verbundfestigkeit bei 80°C ebenfalls ca. 70 % des für 20°C geltenden Werts. Mit zunehmender Temperatur sinkt sie ebenfalls ab, allerdings in geringerem Maße als bei Polyesterharzen. Bei Verbunddübeln auf der Basis von Epoxidharzen wird die Verbundfestigkeit mit zunehmender Temperatur meist stärker gemindert als oben erläutert. Hier ist eine deutliche Produktabhängigkeit vorhanden.

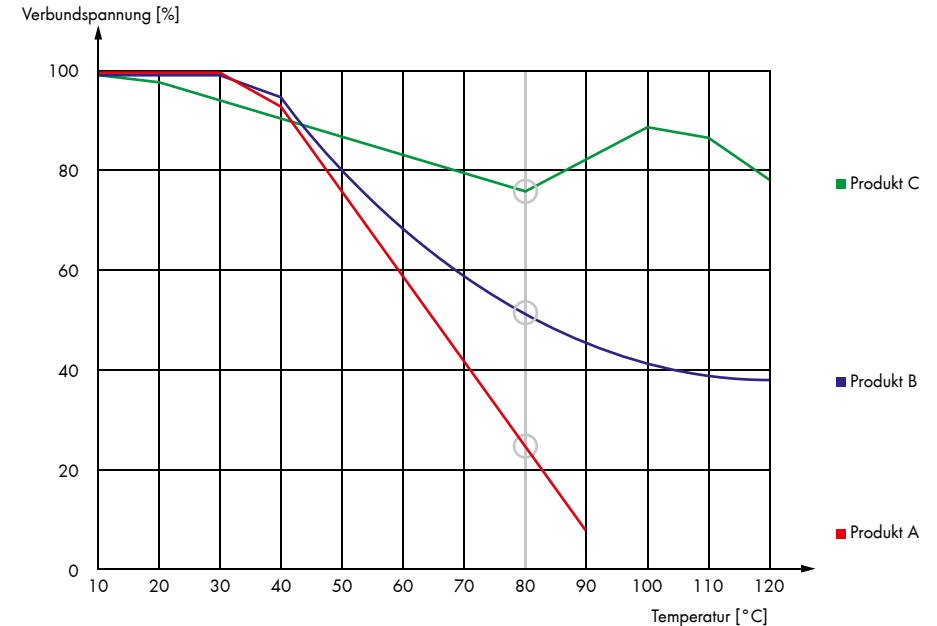


Bild 6.30: Verbundfestigkeit von Verbunddübeln in Abhängigkeit von der Temperatur im Verankerungsgrund [10]

Die Verbundfestigkeit und somit auch die Herausziehllast des Verbunddübels ist produktabhängig. Sie wird durch den Zustand des Betons (trocken, nass), die Art der Bohrlochherstellung (Hammerbohren, Diamantbohren), die Intensität der Bohrlochreinigung, die Feuchte und die Temperatur im Verankerungsgrund beeinflusst. Die für einen bestimmten Anwendungsfall ansetzbare Verbundfestigkeit muss daher in Versuchen ermittelt werden.

Gruppen mit Verbunddübeln können ebenfalls durch Herausziehen der Einzeldübel versagen. Ist der Achsabstand kleiner als der charakteristische Wert, beträgt die Höchstlast von Gruppen mit vier Dübeln weniger als die 4-Fache eines Einzeldübel. Bei weiterer Verringerung des Achsabstands tritt Betonausbruch auf und die Höchstlast nimmt weiter ab.

Dübel am Bauteilrand können durch Herausziehen, Betonausbruch oder Spalten des Betons versagen, wobei die Höchstlast bei Unterschreitung des charakteristischen Randabstands gegenüber dem Wert für große Randabstände abnimmt.

Die Höchstlast von Dübelgruppen bzw. Befestigungen am Rand bei den Versagensarten Betonausbruch und Herausziehen kann unabhängig von der Versagensart näherungsweise analog zum CC-Verfahren (vgl. Kapitel 10.2) berechnet werden [69]. Allerdings ist der kritische Achs- bzw. Randabstand abhängig vom Durchmesser und der Verbundfestigkeit. Er ist in vielen Fällen kleiner als bei Hinterschnitt- und Metallspreizdübeln. Das Verfahren zur Ermittlung der Bruchlasten ist in [49] und [50] beschrieben.

Kunstharze weisen aufgrund ihrer Materialeigenschaften einen Unterschied in der Festigkeit bei kurzzeitiger und lang einwirkender Beanspruchung auf. Überdies kann ihre Festigkeit durch Umwelteinflüsse vermindert werden. Die Dauerstandfestigkeit des Verbunds von Verbundmörteln in trockenen Umgebungsbedingungen beläuft sich durchschnittlich auf ca. 60 % der Kurzzeitfestigkeit. Tritt während des Versuchs kein Dauerbruch ein, wird die im anschließenden Kurzzeitversuch ermittelte Verbundfestigkeit durch die vorausgegangene Dauerbelastung nicht merklich abgemindert. Bei Verankerungen im Freien können jedoch Feuchtigkeitsänderungen im Beton und Temperaturschwankungen sowie Frost-Tau-Wechsel nicht ausgeschlossen werden. Außerdem können aggressive Medien einwirken. Bei Verbunddübeln aus ungesättigten Polyesterharzen kann

durch Feuchtigkeitseinfluss bei langen Standzeiten die Verbundfestigkeit im Mittel auf ca. 60 % und in extremen Fällen auf ca. 30 % des Anfangswerts abnehmen. Harze auf der Basis von Vinylester reagieren deutlich weniger auf klimatische Beanspruchungen als ungesättigte Polyesterharze. Ihre Verbundfestigkeit nimmt durch Umwelteinflüsse (z. B. Feuchtigkeit) nur um maximal ca. 10 % ab.

6.4.2 Querbeanspruchung im ungerissenen Beton

Unter Querlast versagen Verbunddübel wie Metallspreiz- und Hinterschnittdübel.

6.4.3 Kombinierte Zug- und Querbeanspruchung im ungerissenen Beton

Das Tragverhalten von Verbunddübeln im ungerissenen Beton unter einer kombinierten Zug- und Querbeanspruchung entspricht demjenigen von Metallspreiz- bzw. Hinterschnittdübeln. Dadurch können dieselben Gleichungen verwendet werden (siehe Kapitel 10).

6.4.4 Zugbeanspruchung im gerissenen Beton

Verbunddübel versagen je nach Verankerungstiefe, Beton- und Stahlfestigkeit im gerissenen Beton durch Stahlbruch oder Herausziehen. Beim Herausziehen versagt in der Regel der Verbund zwischen Mörtel und Bohrlochwand, in Einzelfällen auch zwischen Mörtel und Ankerstange. Bei Befestigungen mit geringem Randabstand und/oder geringen Bauteildicken kann auch Spalten auftreten. Betonausbruch wird in der Regel nicht beobachtet.

Bild 6.31 zeigt schematisch Last-Verschiebungskurven von Verbunddübeln im gerissenen und ungerissenen Beton. Die Steifigkeit der Dübel ist wie bei anderen Befestigungsmitteln im gerissenen Beton geringer als im ungerissenen. Nach Überwindung des Verbunds zwischen Mörtel und Bohrlochwand wird der Dübel mit Mörtelpfropfen herausgezogen, wobei noch eine geringe Laststeigerung möglich ist (grüne Kurve in Bild 6.31). Dies ist auf die Reibung des Mörtelpfropfens im wellig verlaufenden Bohrloch zurückzuführen. Da die Reibung von zufälligen Unebenheiten der Bohrlochwand abhängt, streut sie stark und es können sich daher nach Überwindung des Verbunds sehr unregelmäßig verlaufende Last-Verschiebungskurven ergeben.

Wird das Bohrloch nicht sorgfältig von Bohrstaub gereinigt, sinkt die Höchstlast weiter ab (blaue Kurve in Bild 6.31). Der Einfluss der Bohrlochreinigung auf die Herausziehllast hängt vom Produkt ab und ist im gerissenen Beton eher größer als im ungerissenen [47].

Sind Verbunddübel in Rissen verankert und durch eine konstante Zuglast beansprucht, nehmen die Verschiebungen bei Änderungen der Breite der Risse im Verankerungsgrund zu. Ist die konstante Zuglast deutlich kleiner als die Last bei Überwindung des Verbunds zwischen Mörtel und Bohrlochwand, dann ist nur eine geringe Verschiebungszunahme zu erwarten. Ist die Last höher, dann tritt nach wenigen Rissöffnungen Herausziehen des Dübels auf.

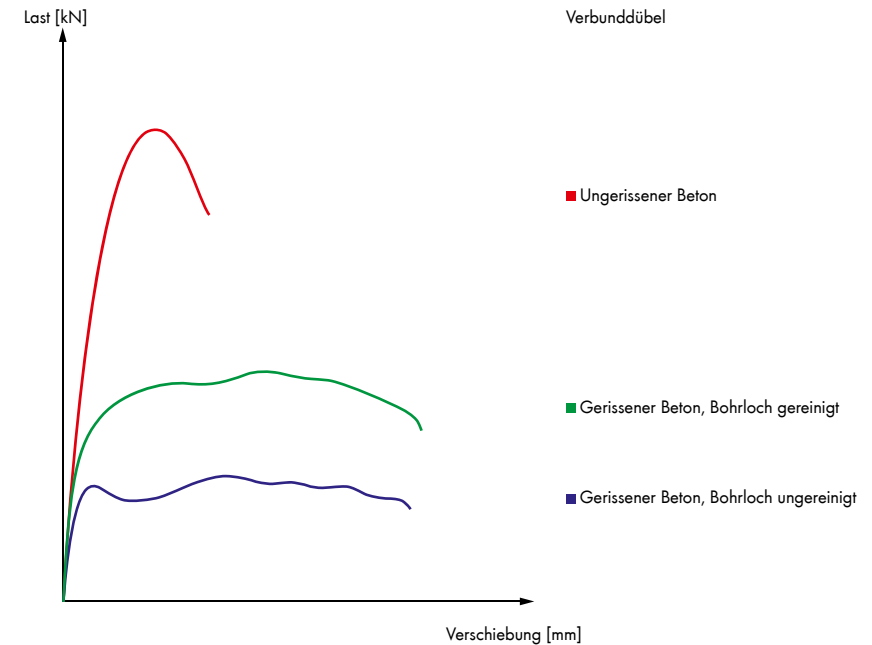


Bild 6.31: Last-Verschiebungskurven von Verbunddübeln im ungerissenen und gerissenen Beton (schematisch) [46]

Wegen der hohen Zugfestigkeit des Verbundmörtels verläuft der Riss zwischen Bohrlochwand und Mörtel. Dadurch wird der Verbund zwischen Mörtel und Bohrlochwand auf einer Seite zerstört (Bild 6.32). Nimmt man den in Bild 6.32 dargestellten Rissverlauf über die gesamte Verankerungstiefe an, dann beträgt die Höchstlast bei Überwindung des Verbunds auf der intakten Seite theoretisch 50 % der Höchstlast im ungerissenen Beton.

Die Herausziehlasten im gerissenen Beton sind wesentlich niedriger als im ungerissenen Beton. Bei einer Rissbreite von $w = 0,3 \text{ mm}$ betragen sie zwischen ca. 25 % und 80 %, im Mittel ca. 50 % der Werte im ungerissenen Beton.

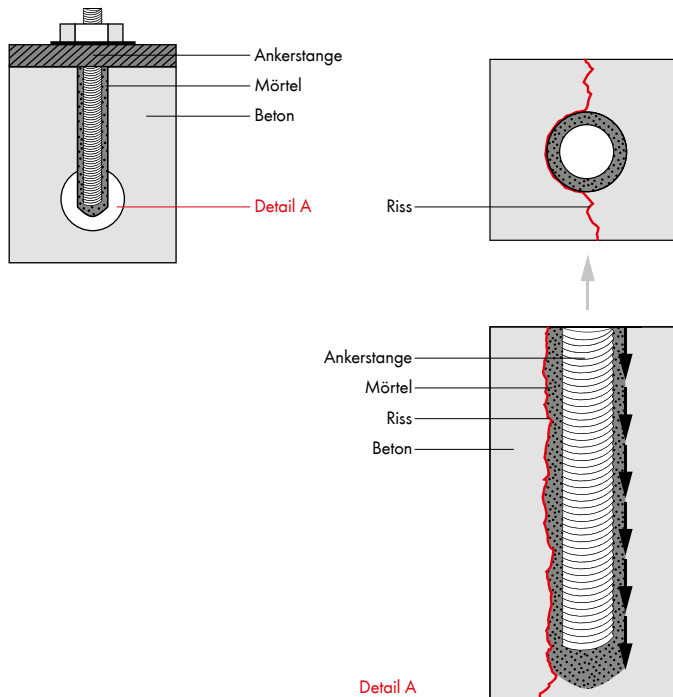


Bild 6.32: Störung des Verbunds zwischen Mörtel und Beton durch einen Riss im Verankerungsgrund [45]

6.4.5 Querbeanspruchung im gerissenen Beton

Risse haben im Allgemeinen nur einen geringen Einfluss auf die Steifigkeit von querbelasteten Verbunddübeln. Bei großem Randabstand und ausreichender Verankerungstiefe tritt Stahlversagen auf, wobei die Höchstlast nur wenig durch Risse beeinflusst wird. Bei randnahen Verankerungen tritt Betonkantenbruch auf.

6.4.6 Kombinierte Zug- und Querbeanspruchung im gerissenen Beton

Bei Verbunddübeln stimmt das im gerissenen Beton beobachtete Last-Verschiebungsverhalten prinzipiell mit dem im ungerissenen Beton überein. Im gerissenen Beton werden dieselben Versagensarten beobachtet wie im ungerissenen Beton. Die Höchstlasten von Verbunddübeln im gerissenen Beton unter kombinierter Zug- und Querbelastung können durch dieselben Interaktionsgleichungen beschrieben werden wie diejenigen im ungerissenen Beton.

6.5 Risstaugliche Verbunddübel

6.5.1 Ungerissener Beton

Im ungerissenen Beton unterscheiden sich der Tragmechanismus, das Last-Verschiebungsverhalten und die Versagensarten von zugbeanspruchten Verbund-Spreizdübeln nicht wesentlich vom Verhalten üblicher Verbunddübel. Dabei wirkt sich die Spreizwirkung günstig aus. Die Bohrlochreinigung beeinflusst das Tragver-

halten relativ wenig, weil die Dübel nach Überwindung des Verbunds zwischen Mörtel und Bohrlochwand als Spreizdübel funktionieren. Das Tragverhalten unter Temperatur, Dauerlasten sowie Umwelteinflüssen entspricht dem üblicher Verbunddübel (vgl. Kapitel 6.4.1). Unter Querlasten verhalten sich Verbund-Spreizdübel wie Metallspreizdübel.

6.5.2 Gerissener Beton

Bild 6.33 zeigt Last-Verschiebungskurven von nicht vorgespannten zugbeanspruchten Verbund-Spreizdübeln im ungerissenen und gerissenen Beton. Wie bei risstauglichen Spreizdübeln nehmen Steifigkeit und Höchstlast im gerissenen Beton ab.

Bei Verbund-Spreizdübeln wird, wie bei Verbunddübeln üblich, durch den Riss der Verbund zwischen Mörtel und Bohrlochwand auf einer Seite zerstört. Bei Belastung reißt die Mörtelschale radial auf und die Ankerstange wird in die Mörtelschale hineingezogen (Bild 6.34). Der Dübel spreizt nach und überbrückt die Rissöffnung. Dieses Nachspreizen ist an einem veränderten Anstieg der Last-Verschiebungskurve in (vgl. Bild 6.33) zu erkennen. Zwischen Mörtel und Bohrlochwand entstehen Spreizkräfte und damit Reibungskräfte. Die Reibungskräfte reichen aus, um die angreifenden Zuglasten ohne Inanspruchnahme des Verbunds zwischen Mörtel und Bohrlochwandung zu übertragen. Ist die Kraft zum Lösen der Ankerstange vom Mörtel ausreichend niedrig, spreizen Verbund-Spreizdübel auch bei schlechter Bohrlochreinigung nach. Damit wird dieselbe Höchstlast wie in gut gereinigten Bohrlöchern erreicht (Bild 6.33).

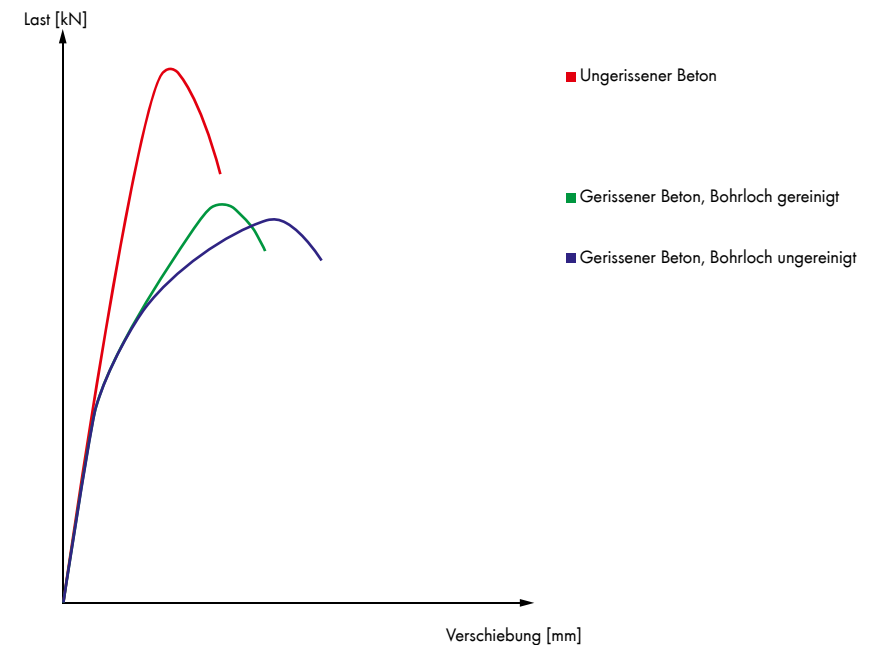


Bild 6.33: Last-Verschiebungskurven von Verbund-Spreizdübeln im ungerissenen und gerissenen Beton (schematisch) [45]

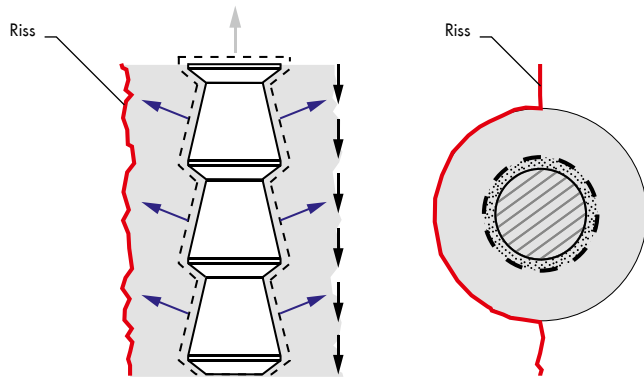


Bild 6.34: Störung des Verbunds zwischen Mörtel und Beton durch einen Riss im Verankerungsgrund und Übertragung der Zuglast bei Verbund-Spreizdübeln [45]

Verbund-Spreizdübel versagen im gerissenen Beton infolge Durchziehens der Ankerstange durch den Mörtel. Die Höchstlasten sind ca. 30 % geringer als im ungerissenen Beton.

6.6 Kunststoffdübel

6.6.1 Allgemeines

Durch das Eindrehen der Schraube in die Dübelhülse wird Kunststoff verdrängt und die Dübelhülse gegen die Bohrlochwand gedrückt. Es entstehen Spreizkräfte entlang der Dübelachse. Moderne Kunststoffdübel weisen eine möglichst gleichmäßige Verteilung des Anpressdrucks entlang der Dübelachse auf.

Bei Schraubdübeln prägt die Schraube beim Eindrehen ein Gewinde in die Kunststoffhülse. Äußere Zugkräfte werden von der Schraube durch Formschluss und Reibung in die Dübelhülse und über Reibung zwischen Bohrlochwand und Dübelhülse in den Untergrund übertragen. Beim Einschlagen des Nagels in die Hülse von Nageldübeln wird der Kunststoff hauptsächlich verdrängt. Daher wird eine am Nagel angreifende Zugkraft vorwiegend über Reibung in die Kunststoffhülse übertragen. Mit zunehmender Belastungsdauer kriecht der Kunststoff in die Unebenheiten und die Mikroporen des Betons, sodass eine geringe Mikroverzahnung und damit ein geringer Formschluss zwischen Dübelhülse und Untergrund entsteht.

Kunststoffdübel versagen in der Regel durch Herausziehen der Dübelhülse aus dem Bohrloch. Der Untergrund wird dabei nicht beschädigt und es findet kein Ausbruch statt. Bei Nageldübeln kann das Versagen aufgrund des schlechteren Verbunds zwischen Nagel und Dübelhülse auch durch Herausziehen des Nagels aus der Dübelhülse hervorgerufen werden.

Als Rohstoff für die Herstellung von Dübelhülsen für Kunststoffdübel werden beispielsweise Polyamide PA6 bzw. PA6.6 verwendet. Polyamide sind teilkristalline Thermoplaste, deren Werkstoffeigenschaften durch unterschiedliche Parameter beeinflusst werden. Im Hinblick auf die Tragfähigkeit von Kunststoffdübeln sind vor allem die Parameter Feuchtigkeit, Temperatur und Zeit zu nennen.

Mit der Wasseraufnahme ist eine Volumenänderung verbunden. Mit steigendem Feuchtigkeitsgehalt wird das Polyamid zäher bei gleichzeitiger Einbuße von Härte und Steifigkeit. Ähnlich verhält sich Polyamid bei steigenden Temperaturen. Mit zunehmender Temperatur nehmen Steifigkeit und Festigkeit ab. Außerdem wird das Tragverhalten von Kunststoffdübeln wesentlich durch das zeitabhängige, visko-elastische Verformungsverhalten des Kunststoffs beeinflusst. Hierbei spielen die zeitabhängigen Prozesse der Relaxation und der Retardation (Kriechen) eine entscheidende Rolle.

6.6.2 Tragverhalten von Kunststoffdübeln in Beton

Die Herausziehlasten von Kunststoffdübeln hängen von der Spreizkraft ab. Die Höhe der Spreizkraft wird durch die Konstruktion des Dübels beeinflusst. Daher weisen zugelassene Kunststoffdübel verschiedener Hersteller unterschiedliche zulässige Lasten auf.

Der Einfluss der Temperatur auf die Zugtragfähigkeit von Kunststoffdübeln aus Ultramid ist in Bild 6.35 dargestellt. Man erkennt, dass bei Dübeln mit einer Dübelhülse aus B3L die Herausziehlast mit zunehmender Temperatur deutlich abfällt, während sie bei einer Hülse aus B3S bis zu einer Temperatur von ca. 80 °C kaum beeinflusst wird. Die maximal zulässige, nur über einen kurzen Zeitraum auftretende Temperatur beträgt bei Kunststoffdübeln, die für die Befestigung von Fassaden verwendet werden, etwa 80 °C. Die minimale Temperatur bei der Montage ist produktabhängig und kann der jeweiligen Zulassung bzw. Montageanleitung entnommen werden. Es gibt Produkte, die bereits ab einer Temperatur ≥ -40 °C (Untergrund- und Dübeltemperatur) montiert werden können.

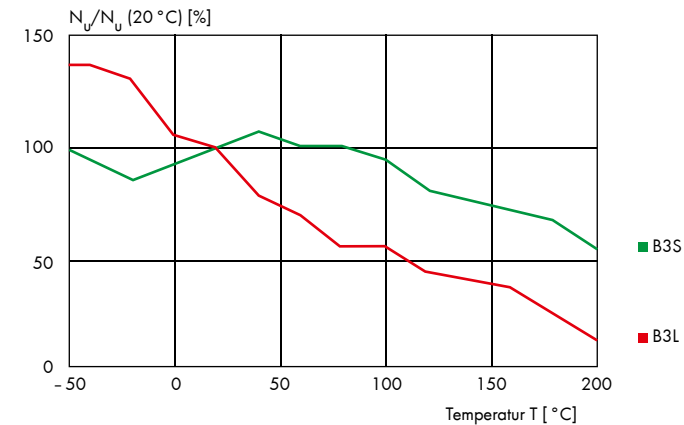


Bild 6.35: Einfluss der Temperatur auf die Zugtragfähigkeit von Kunststoffdübeln [41], [42]

Bild 6.36 zeigt den Einfluss des Feuchtigkeitsgehalts der Dübelhülse auf die Zugtragfähigkeit von Kunststoffdübeln. Die Ausgleichsfeuchte des Polyamids liegt bei etwa 2,5 %, die Sättigungsfeuchte je nach Polyamidart bei ca. 7 % bis 10 %. Sind die Dübel trockener als die Ausgleichsfeuchte, steigt die Zugtragfähigkeit an. Bei Dübeln mit nasser Dübelhülse sinkt die Herausziehlast, wobei der Abfall der Tragfähigkeit bei Ultramid B3L stärker ist als bei B3S.

6.7 Injektionsdübel in Mauerwerk

Injektionsdübel übertragen Zugkräfte in Lochsteinen überwiegend über mechanische Verzahnung des in den angeschnittenen Hohlraum gepressten Mörtels mit dem Untergrund. Zusätzlich wirken Verbundkräfte im Bereich der angeschnittenen Stege. Das Versagen erfolgt im Allgemeinen durch Steinausbruch. Daher hängt die Höchstlast von der Steifigkeit sowie der Dicke und der Anzahl der Stege im Verankerungsbereich ab. Darüber hinaus kann das Tragverhalten durch die Festigkeit des Mörtels beeinflusst werden. Ist diese zu gering, werden die Ankerstangen aus dem Mörtel gezogen, bevor Steinausbruch auftritt. In Vollsteinen (Lochanteil $\leq 15\%$) werden in der Regel beim Bohren keine Hohlräume angeschnitten. Die Dübel übertragen Lasten durch die Verbundwirkung zwischen Bohrlochwand und Mörtel. Dies gilt auch für Lochsteine, wenn beim Bohren kein Hohlraum angeschnitten wird. Das Tragverhalten wird entscheidend durch die Bohrlochreinigung beim Setzen des Dübels beeinflusst. Daher sind die Angaben des Herstellers zur Bohrlochreinigung unbedingt einzuhalten. In Vollsteinen versagen Injektionsdübel in der Regel durch Verbundversagen zwischen Mörtel und Bohrlochwand.

Die Höchstlasten von bauaufsichtlich zugelassenen Dübelssystemen in Hochlochziegeln etwa gleicher Festigkeit sind im Wesentlichen unabhängig von der Setzposition und der Setzrichtung.

Bild 6.39 zeigt die Entwicklung der Herausziehlasten von Injektionsdübeln in HLz12 seit 1984 für die Dübeltypen C und B (Hersteller A) und Typ D und G (Hersteller B). Bei den Produkten B und G handelt es sich jeweils um eine weiterentwickelte Variante der Dübelssysteme, die in Vergleichsversuchen mindestens die gleiche Traglast aufwiesen wie die bisherige Version. Es ist deutlich erkennbar, dass die Herausziehlasten seit 1984 stark abgefallen sind. Dies liegt an den veränderten Steinen. Durch immer dünnere Stege werden die Herausziehlasten stark reduziert.

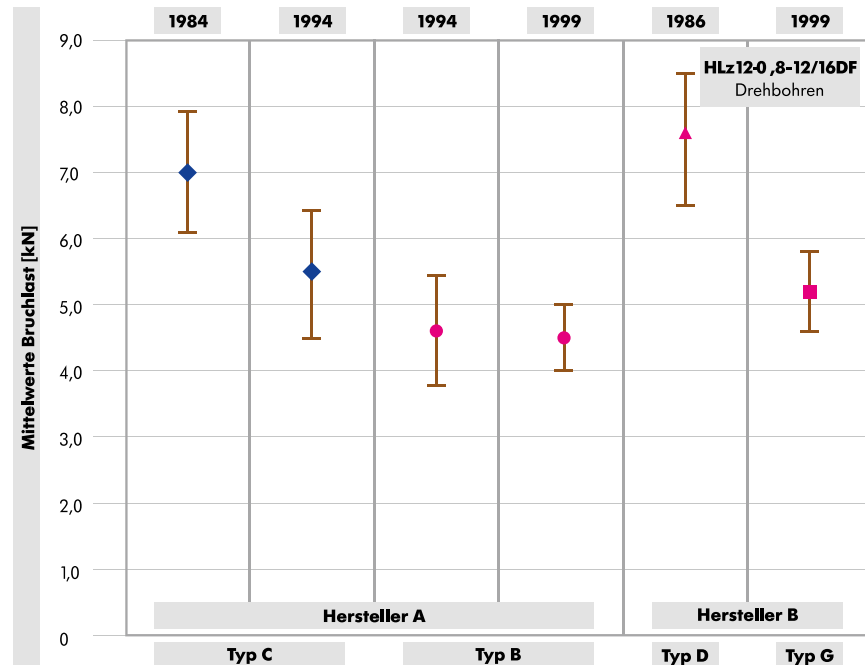


Bild 6.39: Höchstlasten von Injektionsdübeln in HLz12-0,8-12DF/16DF nach DIN 105; Entwicklung der Versagenslasten seit 1984 [43]

Durch das Hammerbohren bricht der Steg von Lochsteinen trichterförmig auf der Austrittseite des Bohrers aus (Bild 6.40). Die Stegdicke wird dadurch im Vergleich zu dem im Drehgang erstellten Bohrloch reduziert und die Höchstlasten sinken ab. Aus diesem Grund sind in den Zulassungen die zulässigen Lasten in Abhängigkeit vom Bohrfahrer angegeben.

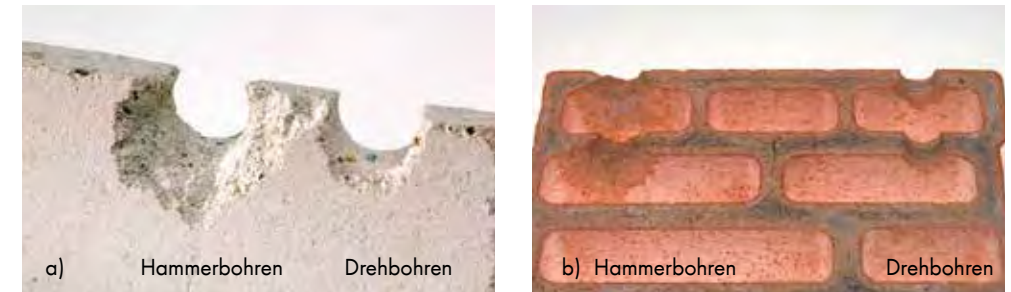


Bild 6.40: Einfluss des Bohrfahrers auf die Bohrlochgeometrie a) in einem Kalksandlochstein bzw. b) in einem Hochlochziegel

Werden in Lochsteinen keine Hohlräume angebohrt oder wird in Vollsteinen befestigt, dann müssen Injektionsdübel die Last über Verbundspannungen zwischen Mörtel und Bohrlochwand in den Stein einleiten. Die Verbundfestigkeit ist stark von der Bohrlochreinigung abhängig.

Bild 6.41 zeigt den Einfluss der Bohrlochreinigung auf die Höchstlasten in Kalksandvollsteinen.

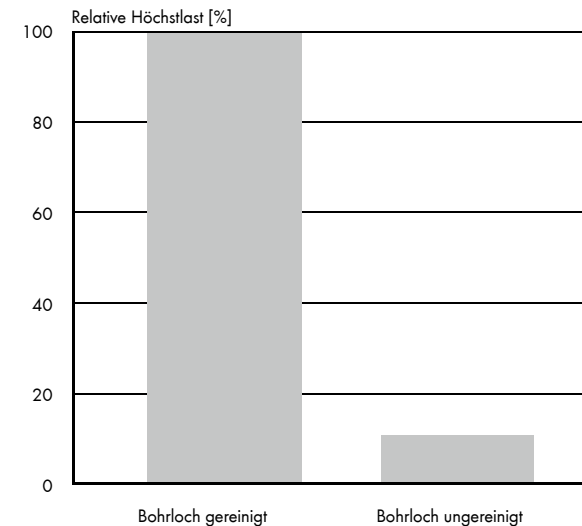


Bild 6.41: Einfluss der Bohrlochreinigung auf die relative Höchstlast eines Injektionsdübels in Kalksandvollsteinen [81]

6.8 Tragverhalten unter Brandbeanspruchung

6.8.1 Allgemeines

Mit der zunehmenden Verwendung von Dübeln im konstruktiven Ingenieurbau hat das Thema Brandwiderstand erheblich an Bedeutung gewonnen. Mit Dübeln werden nicht nur tragende Bauteile verbunden sondern, z. B. auch Klimaanlage, Rohrsysteme, Elektroinstallationen und Decken abgehängt. Einige dieser Anbauteile, wie Rohrleitungssysteme für Sprinkler- oder Brandmeldeanlagen, sind für einen effektiven Brandschutz entscheidend. Durch ein vorzeitiges Herunterfallen bzw. Nichtaktivwerden solcher abgehängter Komponenten können Menschen verletzt, Flucht- und Rettungswege versperrt, das Eintreffen der Feuerwehr verzögert bzw. Personenrettung erschwert und im Einzelfall sogar unmöglich werden.

In der Vergangenheit wurden Brandprüfungen für Dübel auf der Grundlage des besten Wissens von einzelnen Prüflaboren, Herstellern oder planenden Ingenieuren durchgeführt. In einigen Fällen waren solche Prüfungen anwendungsspezifisch und objektbezogen.

Daraus resultierten Daten, die keine einheitliche Grundlage für den Vergleich von Versuchsergebnissen und Produkten hinsichtlich des Brandwiderstands erlaubten. Zudem berücksichtigten diese Daten nicht alle Versagensarten. Daher wurden auf europäischer Ebene allgemein akzeptierte Regeln für die Prüfung, Auswertung und Bemessung von Dübeln unter Brandbeanspruchung entwickelt.

6.8.2 Grundlagen

Der im Mai 2004 veröffentlichte EOTA Technical Report TR 020 „Beurteilung der Feuerwiderstandsfähigkeit von Verankerungen (Metalldübel) im Beton“ beinhaltet das in Europa vorhandene Wissen zur Prüfung, Auswertung und Bemessung von Dübeln unter Brandbeanspruchung. Der TR 020 dient als Grundlage für die Erteilung europäisch technischer Zulassungen für brandbeanspruchte Metall-, Verbund und Kunststoffdübel. Er beinhaltet weiterhin eine vereinfachte Bemessungsmethode, die die Versagensarten Betonausbruch, Herausziehen und Stahlbruch berücksichtigt und dem Verfahren nach CEN/TS 1992-4-1 entspricht.

Als Grundlage für den EOTA TR 020 dienen die Untersuchungen von Reick [82]. Er stellte die Ergebnisse zahlreicher Brandprüfungen an Metalldübelssystemen unterschiedlicher Hersteller an verschiedenen Prüfanstalten, die wiederum unterschiedliche Versuchseinrichtungen benutzten, zusammen und wertete diese aus.

Für seine Untersuchungen benutzte er Prüfergebnisse, die auf der Einheitstemperatur-Zeitkurve nach ISO 834 (entspricht DIN 4102-2, Bild 3) basieren (Bild 6.42, blaue Kurve). Diese Kurve ist auch die Grundlage für Prüfungen nach TR 020. Sie simuliert den Temperaturverlauf von brennendem Holz und ist nahezu identisch mit der Kurve in der amerikanischen Prüfvorschrift ASTM E 119 für den Temperaturverlauf eines Standardbrands.

In anderen Fällen wie z. B. in der petrochemischen Industrie verläuft die Einheitstemperatur-Zeitkurve steiler, da der Treibstoff des Feuers (Kohlenwasserstoff anstelle von Holz) schneller brennt. Deshalb werden hier modifizierte Kurven wie z. B. die UL-1709-Einheitstemperatur-Zeitkurve für die Kohlenwasserstoffkurve benutzt. Besondere Einheitstemperatur-Zeitkurven sind auch für den Brandverlauf in Tunneln entwickelt worden. Diese basieren auf den in Zusammenhang mit den Bränden im Mont-Blanc- und Gotthard-Tunnel gewonnenen Erkenntnissen.

Für die genannten Spezialfälle können die in den europäisch technischen Zulassungen für Metalldübel angegebenen Feuerwiderstände nicht verwendet werden. Hierfür werden vom Hersteller entsprechende Prüfzeugnisse bereitgestellt.

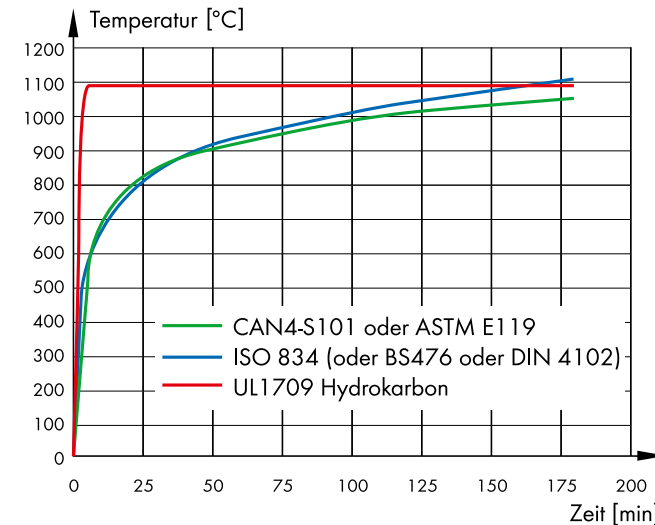


Bild 6.42: Einheitstemperatur-Zeitkurven nach unterschiedlichen Vorschriften [82]

Die Untersuchungen von Reick verdeutlichen, dass Geometrie und Abmessungen des in der Brandprüfung benutzten Stahlanbauteils, über das die Last auf den Dübel in der Brandkammer übertragen wird, das Temperaturfeld im Umkreis des Dübels wesentlich beeinflussen. Daraus resultiert, dass die in den Brandversuchen nach EOTA TR 020 verwendeten Anbauteile eindeutig definiert sind.

6.8.3 Gültigkeitsbereich

Der EOTA TR 020 ist unter den folgenden Bedingungen gültig:

- Die Dübel müssen eine europäische technische Zulassung (ETA) besitzen, die die Verwendung in gerissem Beton ausdrücklich erlaubt.
- Bei Kunststoff- und Verbunddübeln muss der Nachweis des Widerstands gegen die Versagensart Herausziehen bzw. Verbundversagen über die Ergebnisse aus Brandversuchen geführt werden.
- Die Brandbeanspruchung erfolgt nur von einer Seite.

Tritt die Beanspruchung von mehreren Seiten wie z. B. an einer Gebäudeecke auf, gilt das Bemessungskonzept nur, wenn der Randabstand des Ankers mindestens 300 mm beträgt oder dem zweifachen Wert der Verankerungstiefe entspricht. Der größere der beiden Werte ist maßgebend. Die Auswertung nach EOTA TR 020 berücksichtigt, dass die Dübel der Brandeinwirkung ungeschützt ausgesetzt sind.

6.8.4 Versagensarten

6.8.4.1 Allgemeines

Die Ergebnisse der Brandprüfungen zeigen außerdem, dass unter Brandbeanspruchung dieselben Versagensarten wie unter normaler Temperatur auftreten. Diese sind:

- Stahlversagen
- Herausziehen/Verbundversagen
- Betonversagen

6.8.4.2 Stahlversagen

Stahlversagen erfolgt in der Regel durch den Bruch der Ankerstange oder durch ein Abstreifen des Gewindes durch die Mutter und stellt eine häufige Versagensursache unter Brandbeanspruchung dar, da die Stahltragfähigkeit mit steigender Temperatur deutlich herabgesetzt wird.

Die maximal aufnehmbare Stahlspannung hängt dabei von folgenden Parametern ab:

- Dauer des Feuers
- Art des Stahls
- Durchmesser des Dübels

Edelstähle haben einen höheren Brandwiderstand als verzinkte Kohlenstoffstähle. Außerdem versagen Dübel mit kleinen Durchmessern bei gleicher Stahlspannung früher als Dübel mit großen Durchmessern.

6.8.4.3 Betonversagen

Unter Brandbeanspruchung des Betons kommt es aus folgenden Gründen zu starken inneren Spannungen:

- unterschiedliche Temperatursdehnungskoeffizienten der Betonbestandteile
- hoher Temperaturgradient zwischen Oberfläche (beflammt) und Bauteilinnerem
- unterschiedlicher Feuchtegehalt der Betonbestandteile
- verstärkte Wärmeleitung im Bereich der Verankerung

Außerdem verdampft das im Beton physikalisch gebundene Wasser und erzeugt zusätzliche Druckbeanspruchungen, die zu Oberflächenabplatzungen führen können. Dieser Effekt kommt vor allem bei hochfesten Betonen vor, kann jedoch vermindert werden, indem der Beton mit Komponenten entsprechend DIN EN 1992-1 entworfen wird. Das Bemessungsmodell für den kalten Zustand gilt auch für den heißen Bemessungszustand, allerdings sind die Tragfähigkeiten auf 20 % bzw. 25 % zu reduzieren.

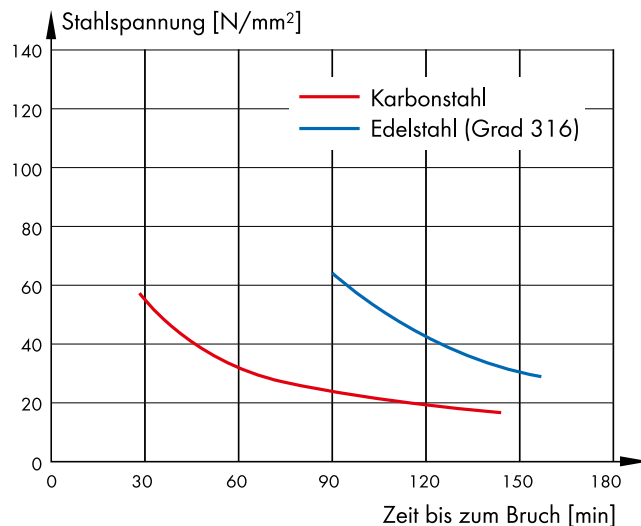


Bild 6.43: Bruchspannung von Kohlenstoffstahl (carbon steel) und Edelstahl A4 (stainless steel grade 316) als Funktion der Zeit (Reick, [82])

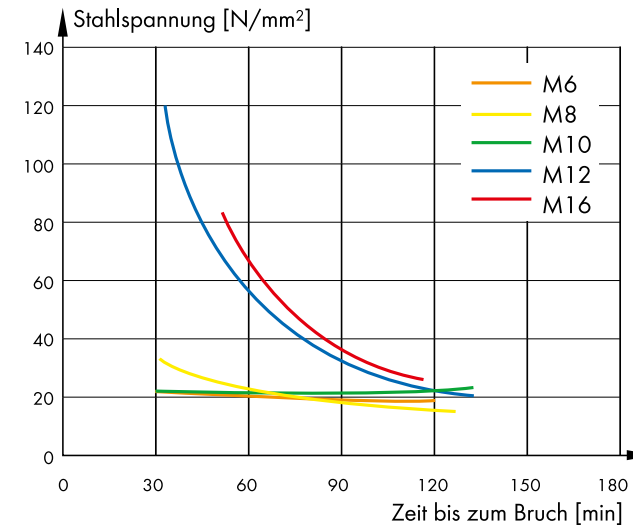


Bild 6.44: Bruchspannung von Kohlenstoffstahl für Durchmesser M6 bis M16 als Funktion der Zeit (Reick, [82])

6.8.4.4 Herausziehen

Ein Versagen des Dübels infolge Herausziehens ist bei Metallspreizdübeln abhängig von:

- verwendeten Materialien im Verankerungsbereich
- Beschichtung von Konus und Sprezhülse
- Geometrie und Wärmeleitfähigkeit

Die Versagensart Herausziehen ist produktabhängig und durch Versuche nachzuweisen. Vereinfachend kann der Nachweis aber auch über eine deutliche Minderung der Widerstände des kalten Bemessungsfalls erfolgen. Das vereinfachte Verfahren liegt in der Regel deutlich auf der sicheren Seite. Für die meisten Produkte, die den Anforderungen unter Brandbeanspruchung entsprechen, liegen Ergebnisse aus Brandversuchen vor. Die Versuche werden nach EOTA TR 020 durchgeführt und ausgewertet. Der TR 020 enthält alle wichtigen Angaben für die Auswertung und Beurteilung von Metallspreizdübeln unter Brandbeanspruchung in Bauwerken aus Normalbeton der Festigkeitsklassen C20/25 bis C50/60.

Die Festlegung der Feuerwiderstandsklasse eines Verbindungsmittels erfolgt entsprechend den in DIN EN 1363-1 angegebenen Bedingungen. Darin sind die Beanspruchbarkeiten für verschiedene Brandwiderstandsdauern festgelegt.

Besitzt ein Dübel z. B. die Feuerwiderstandsklasse R90, wurde der Nachweis erbracht, dass der Dübel eine definierte Last über die Dauer von 90 Minuten bei der im Brandversuch zugrunde gelegten Einheitstemperatur-Zeitkurve in einem definierten Verankerungsgrund übertragen kann. Dabei geht man davon aus, dass der als Verankerungsgrund dienende Stahlbeton mindestens die gleiche Feuerwiderstandsdauer wie der Dübel selbst aufweist.

6.9 Ermüdungsrelevante (dynamische) Einwirkungen

6.9.1 Allgemeines

Bei einer Vielzahl von Bauwerken treten nicht ruhende Lasten auf, z. B. bei Kranbahnen, Verkehrsbauten, der Befestigung von Aufzugsführungsstrukturen, in Kraftwerken etc. In [5] sind die bisher durchgeführten Untersuchungen umfassend beschrieben und zusammengefasst.

Der Anwendungsbereich der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen (abZ) war bis 1999 auf „vorwiegend ruhende Lasten“ beschränkt, bei nicht ruhenden Einwirkungen war eine Zustimmung im Einzelfall erforderlich. Seit 1999 werden vom Deutschen Institut für Bautechnik auch allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen für Dübel erteilt, bei denen der Anwendungsbereich auf ermüdungsrelevante (dynamische) Einwirkungen erweitert wurde (vgl. [14]).

Derzeit arbeitet die EOTA an einer Erweiterung der ETAG 001 [52] um ermüdungsrelevante (dynamische) und seismische Einwirkungen.

Im Folgenden werden die Hintergründe zur Anwendung dieser Zulassungen erläutert. Außerdem wird auf häufig gestellte Fragen bei der Anwendung eingegangen. Hier ist besonders zu beachten, dass die übliche Vorgehensweise beim Führen eines Standsicherheitsnachweises im Bauwesen bei vorwiegend ruhenden Einwirkungen hier zu erheblichen Fehlern führen kann.

6.9.2 Grundlagen

Bei nicht ruhenden Einwirkungen wird zwischen harmonischen, periodischen, transienten und stoßartigen Einwirkungen unterschieden. Diese unterschiedlichen Einwirkungen sowie deren mögliche Ursachen sind in Bild 6.45 zusammengefasst.

Bei harmonischen und periodischen Einwirkungen kann es bei einer entsprechenden Anzahl von Schwingspielen zum sogenannten Ermüdungsbruch kommen. Auf diese Materialermüdung wird im Folgenden ausführlich eingegangen.

Wann aber Einwirkungen ermüdungsrelevant sind, ist für jeden Bauteiltyp und für jedes Material gesondert zu beantworten. Die Tragfähigkeit eines Verbindungsmittels unter ermüdungsrelevanten Einwirkungen ist von einer Vielzahl von Parametern abhängig, sodass bei ungünstigen Überlagerungen verschiedener Einflüsse die Dauerschwingfestigkeit weniger als 20 % der Festigkeit bei ruhenden Einwirkungen betragen kann.

Transiente Einwirkungen wie bei einem Erdbeben oder impulsartige Einwirkungen, wie sie beim Anprall eines Fahrzeugs entstehen, führen zu anderen Belastungen für ein Befestigungselement als ruhende Einwirkungen. Hier muss einerseits von besonders großen Rissbreiten im Beton ausgegangen werden, andererseits kann aber oft ein erhöhter Materialwiderstand angesetzt werden.

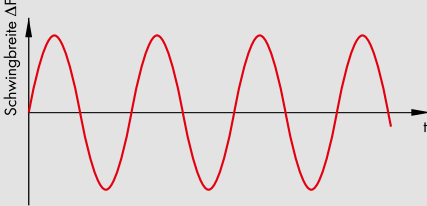
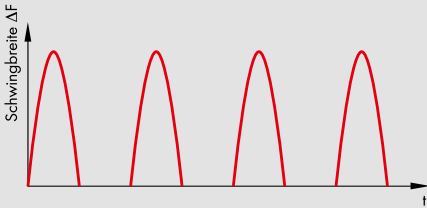
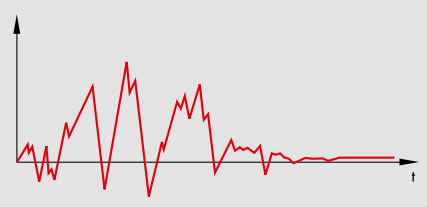
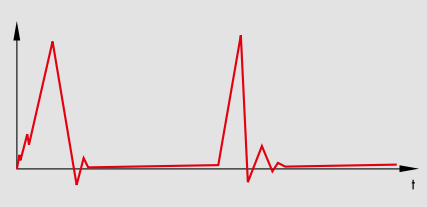
Einwirkung	Verlauf	Mögliche Ursachen
Harmonisch	Sinusförmig auch mit unterschiedlicher Amplitude 	Unwuchten, rotierende Maschinen
Periodisch	Beliebig periodisch 	Straßenverkehr, Kranbahnen, Aufzüge
Transient	Wenige beliebige Zyklen, nicht periodisch 	Erdbeben, Explosion
Stoßartig	Beliebig, mit sehr kurzer Einwirkungszeit 	Aufprall, Explosion

Bild 6.45: Unterschiedliche nicht ruhende Einwirkungen und mögliche Ursachen

Zum Nachweis der Dauerschwingfestigkeit empfiehlt sich die Verwendung eines Nachweiskonzepts, das direkt an die Bemessung eines Dübels bei vorwiegend ruhenden Einwirkungen anschließt und somit den erfolgreichen Standsicherheitsnachweis für vorwiegend ruhende Einwirkungen voraussetzt. Dazu wurde das Interaktive Verfahren ([5] und [6]) entwickelt, bei dem die Prüfung des Dübels die Widerstände für vorwiegend ruhende Einwirkungen voraussetzt und dann die für die Bemessung benötigten charakteristischen Werte liefert.

Neben einer deutlichen Reduktion der Tragfähigkeit infolge von Ermüdung ist zu beachten, dass die Interaktionsdiagramme für kombinierte Zug- und Querbelastrung bei Versagen infolge von Materialermüdung eine andere Form als bei Versagen infolge vorwiegend ruhender Einwirkungen aufweisen können.

In der Literatur sowie in DIN 50100 [25] wird der Begriff der Dauerfestigkeit verwendet. Da dieser Begriff jedoch zu Verwechslungen mit der Festigkeit unter Dauerlast führen kann, ist die Bezeichnung Dauerschwingfestigkeit sinnvoller. Für die Dübelbemessung wird jedoch keine Dauerschwingfestigkeit angegeben, sondern eine Ermüdungstragfähigkeit, da bei unterschiedlichen Lastrichtungen auch unterschiedliche Bereiche des Dübels oder auch die verschiedenen Materialien versagen können.

In Regelwerken findet man die für die Beschreibung der Werkstoffermüdung relevanten Definitionen. Dies sind u. a.:

- Ermüdung: Schaden in einem Bauteil infolge Rissfortschritts, hervorgerufen durch wiederholte Spannungsschwankungen
- Lebensdauer: Gesamtzahl der Spannungsspiele bis zum Ermüdungsversagen
- Dauerfestigkeit (Dauerschwingfestigkeit): Schwingbreite, oberhalb der ein Nachweis der Ermüdungstragfähigkeit erforderlich wird

Die wesentlichen mechanischen Größen für die Beurteilung nichtruhender Einwirkungen sind in Bild 6.46 zusammengestellt. Hier könnte anstelle der Spannung auch die Tragfähigkeit des Systems genannt werden. Durch nichtruhende Einwirkungen kommt es in den betroffenen Bauteilen und Befestigungsmitteln zu einer Vielzahl von Spannungsveränderungen. Nach einer bestimmten Anzahl von Schwingspielen bewirken Spannungsänderungen einen signifikanten Abfall der Festigkeitswerte, der umso größer ist, je größer die Spannungsamplituden sind (Bild 6.46).

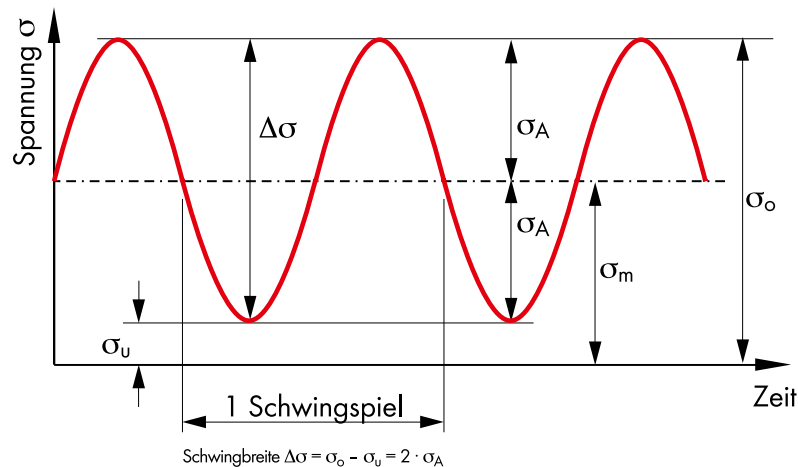


Bild 6.46: Periodische Beanspruchungen

Dieser Zusammenhang wurde bereits in der Mitte des neunzehnten Jahrhunderts (1858) Gegenstand der Untersuchungen August Wöhlers [10]. Damit drang er in ein Gebiet der Werkstoffprüfung und -forschung ein, das sich als eines der wichtigsten, aber auch komplexesten herausstellen sollte. Trotz einer über 140 Jahre andauernden Forschung auf diesem Gebiet sind die Erkenntnisse noch lückenhaft, sodass in vielen Fällen

nicht Berechnungen, sondern Versuche am fertigen Konstruktionselement die Entscheidung über Tauglichkeit oder Untauglichkeit erbringen müssen.

Im Folgenden kann also keine abgeschlossene Erkenntnis, sondern nur der gegenwärtige Stand der Entwicklung dargestellt werden. Für viele wichtige Anwendungsfälle können jedoch Bemessungsregeln (siehe Kapitel 10.7) angegeben werden. Für weitere Fälle werden Hinweise gegeben, wie eine sichere Bemessung durchzuführen ist.

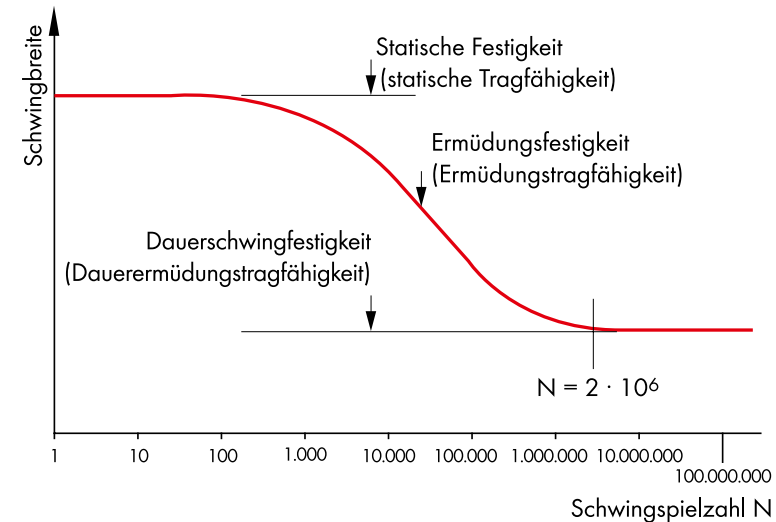


Bild 6.47: Wöhlerlinie

6.9.3 Versagen der Einzeldübel

6.9.3.1 Allgemeines

Bei nichtruhender Zugbeanspruchung eines Dübels wie auch bei statischen Einwirkungen kann das Versagen durch

- Stahlversagen bzw. Gewindebruch,
- Betonausbruch sowie durch
- Rissöffnung mit Herausziehen des Dübels

hervorgerufen werden. Bei Querlasten ist im Allgemeinen dann mit Stahlversagen zu rechnen, wenn Randabstände keinen Einfluss auf den Dübel haben.

6.9.3.2 Stahlversagen unter Zuglast

Umfangreiche Untersuchungen haben gezeigt, dass bei zyklischen Beanspruchungen auf Dübel davon ausgegangen werden kann, dass die Dauerschwingfestigkeit nicht wie bei anderen Bauteilen nach $2 \cdot 10^6$ Schwingspielen erreicht ist. Daher wird zum Beispiel in [14] der Widerstand für unterschiedliche Anzahlen von Schwingspielen angegeben. Bei Schrauben oder gekerbten Bauteilen verlaufen bei einem Versagen infolge von Ermüdung die Anrisse im Stahl von den Kerben oder Fehlstellen ausgehend nach innen. Der Bruch der Restfläche tritt dann nahezu verformungslos und ohne Vorankündigung ein, da sich die auftretenden Dehnungen nur auf einen geringen Bereich beschränken.

6.9.3.3 Stahlversagen unter Querlast

Querlasten erzeugen Biegebeanspruchungen, wenn die Querlast größer ist als die durch Vorspannung erzeugte Reibkraft zwischen zu befestigendem Bauteil und Beton. Biegespannungen infolge nicht ruhender Lasten sind bei Befestigungsmitteln, deren Gewinde in Höhe der Betonoberfläche liegt, wegen der dort auftretenden Kerbwirkung im Rahmen des Zulassungsverfahrens grundsätzlich zu beachten. Bei Querkräften mit Vorzeichenwechsel ist als ermüdungsrelevante Einwirkung die gesamte Schwingbreite anzunehmen. Die Dauerschwingfestigkeit bei Dübeln unter Querlast ist im Allgemeinen geringer als unter zentrischer Zuglast.

6.9.3.4 Betonversagen unter Zuglast

Umfangreiche Untersuchungen zu Betonversagen und Ermüdung haben gezeigt, dass auch hier die Tragfähigkeit in Abhängigkeit von der Anzahl der Schwingspiele abfällt, jedoch deutlich geringer als beim Stahl. Ab einer gewissen Anzahl von Schwingspielen ist ein Betonversagen daher nicht mehr zu erwarten. Für den Nachweis der Standsicherheit wurden die experimentellen Ergebnisse zum Betonversagen in CEN/TS [9] zusammengefasst: Danach kann von einer Dauerermüdungstragfähigkeit von 60 % der Tragfähigkeit für vorwiegend ruhende Einwirkungen ausgegangen werden.

6.9.3.5 Vorspannung unter Zuglast

Bei einer vorschriftsmäßigen Dübelmontage wird ein Montagemoment aufgebracht, das Schraubenkräfte erzeugt, die über der nutzbaren Zuglast liegen. Unter Erhaltung dieser Vorspannkraft F_S würde die zyklisch einwirkende Kraft F_A nur zu unwesentlichen Veränderungen ΔF_S der Schraubenkraft führen (vgl. Bild 6.48).

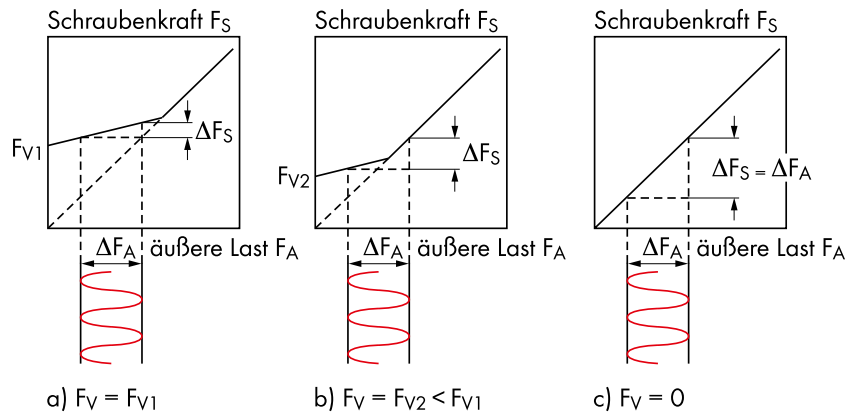


Bild 6.48: Der Einfluss der Vorspannung einer Befestigung auf die Schwingbreite der Schraubenzugkraft

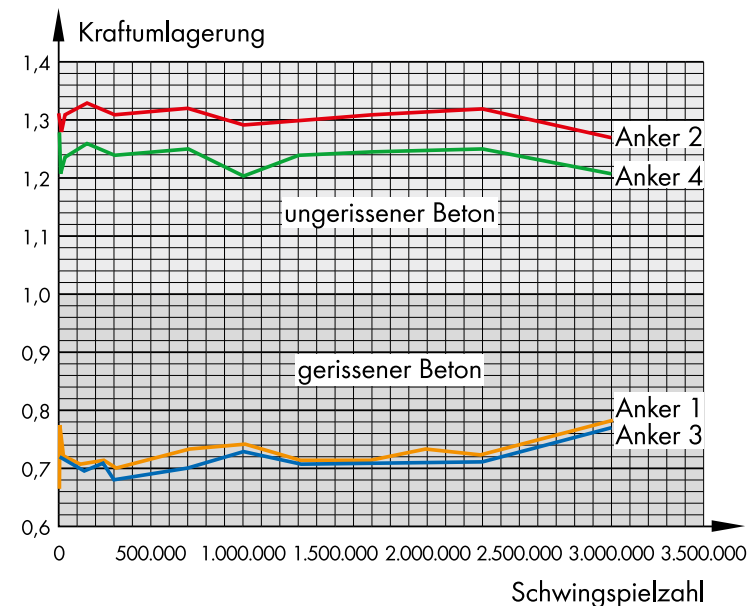
Allerdings bleibt die bei der Montage erzeugte Vorspannkraft nicht erhalten. Schon während der Aufbringung des Vorspannmoments auf den Anker kriecht und relaxiert der Beton aufgrund der hohen lokalen Pressungen im Bereich der Spreizzone. Versuche haben gezeigt, dass die nach längerer Zeit noch vorhandene Vorspannkraft nur noch 30 % bis 50 % des Anfangswerts beträgt. Im Einzelfall kann es sogar zur vollständigen Entspannung kommen, wenn nach der Montage im ungerissenen Beton durch äußere Lasten ein Riss im Verankerungsbereich entsteht. Durch ein Nachspannen lässt sich der Verlust der Vorspannkraft nur vorübergehend reduzieren. Infolge zyklischer Einwirkungen sinkt die Vorspannung oft noch weiter ab. Somit kann von der grundsätzlich positiven Wirkung der Vorspannkraft in Bezug auf den Ermüdungseinfluss leider kein Gebrauch gemacht werden.

6.9.4 Versagen von Gruppenbefestigungen

Bei Gruppenverankerungen mit gleichartig belasteten Dübeln muss von einer ungleichmäßigen Verteilung der angreifenden Beanspruchung auf die Dübel ausgegangen werden. Der wesentliche Grund für die unterschiedlichen Steifigkeiten besteht darin, dass z. B. bei einer Vierfachbefestigung ein oder zwei Dübel im gerissenen Beton positioniert sein können. Dies muss bei der Bemessung unbedingt berücksichtigt werden. Die steifer gelagerten Dübel erhalten einen höheren Kraftanteil als die im Riss gesetzten.

Um die Lastverteilung innerhalb von Dübelgruppen zu begrenzen, wurden seitens der Dübelhersteller zusätzliche konstruktive Maßnahmen ergriffen, die in den Zulassungen beschrieben sind. Beim W-VIZ dynamic (Bild 5.27) wird beispielsweise der Ringspalt zwischen Bohrung im Anbauteil und der Ankerstange beim Eindringen der Ankerstange mit Injektionsmörtel verfüllt.

In den Regelwerken existieren Gruppenfaktoren, ein Maß für die Kraftumlagerung innerhalb einer Dübelgruppe. Mit diesen Faktoren, die in der Regel zwischen 1,30 und 1,40 liegen, werden einzelnen Dübeln einer Gruppe höhere Gewichtungen zugeteilt (vgl. Bild 6.49). Werden keine gegensteuernden Maßnahmen ergriffen, so kann z. B. bei einer Beanspruchung durch Querlast wegen des Lochspiels im Anbauteil der Gruppenfaktor in einer Vierergruppe 2,0 betragen, d. h., die gesamte Last wird nur auf zwei der vier Dübel verteilt.



Anmerkung: Anker 1 und 3 im 0,3 mm breiten Riss, Anker 2 und 4 im ungerissenen Beton

Bild 6.49: Kraftumlagerung im Gruppenversuch mit vier Verbunddübeln und ermüdungsrelevanten Zuglasten in Abhängigkeit von der Anzahl der Schwingspiele

Für die Versagensart Stahlbruch müssen die Umlagerungsfaktoren unter ermüdungsrelevanten Einwirkungen berücksichtigt werden. Dagegen sind für die Versagensart Betonbruch in der Regel die im Riss positionierten Dübel nachzuweisen, weswegen hier eine Kraftumlagerung unberücksichtigt bleiben kann. Bei Querlastbeanspruchung ist für die Kraftumlagerung bei Verbunddübeln grundsätzlich der Faktor 1,30 anzusetzen.

6.9.5 Versuchsergebnisse einzelner Dübel

Im Folgenden werden exemplarisch Versuchsergebnisse aus Dauerschwingversuchen an Verbunddübeln vorgestellt.

Unter ermüdungsrelevanter Zug- oder Querlast erhält man die in Bild 6.50 dargestellten Versuchsergebnisse einschließlich der dort wiedergegebenen Mittelwertfunktionen der Dauerschwingfestigkeit und der Funktionen für die charakteristischen Widerstände (5%-Fraktile).

Im Vergleich zu den Versuchen in axialer Richtung ist die relative Streuung der Versuchsergebnisse um den Mittelwert bei Querbeanspruchung größer. Hier ist zwar ebenfalls Stahlversagen die maßgebende Versagensart, allerdings spielen auch Einflüsse der Betoneigenschaften an der Betonoberfläche eine Rolle. Bricht der Beton muschelförmig aus, so vergrößert sich der Hebelarm für die Querkraft und das Versagen des Stahls tritt eher ein.

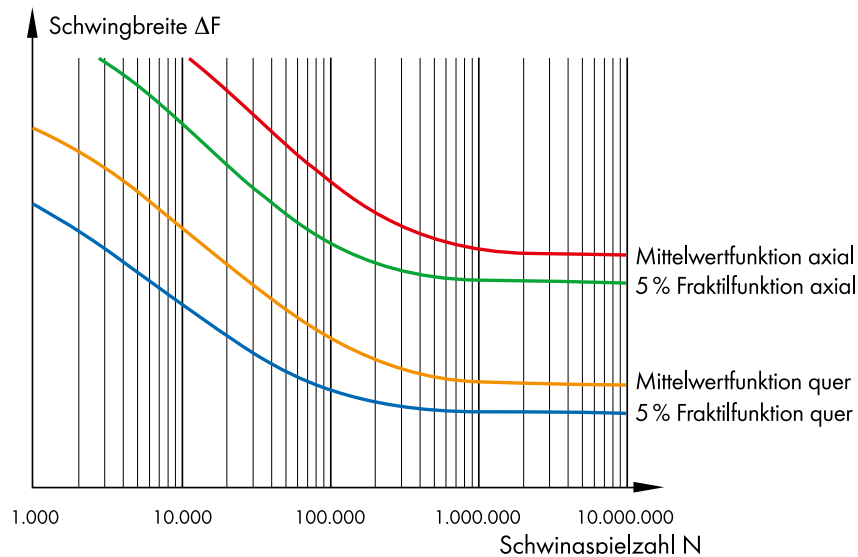


Bild 6.50: Mittelwertfunktionen und Funktionen für 5%-Quantile eines Verbundankers in Axial- und Querrichtung

Das anhand dieser Ergebnisse erstellte Interaktionsdiagramm ist in Bild 6.51. dargestellt. Hier fällt auf, dass es deutlich von den bisher bekannten Interaktionsdiagrammen, die z.B. für die vorwiegend ruhenden Einwirkungen erstellt wurden, abweicht (siehe Kapitel 10.3.1.5.3, Bild 10.7).

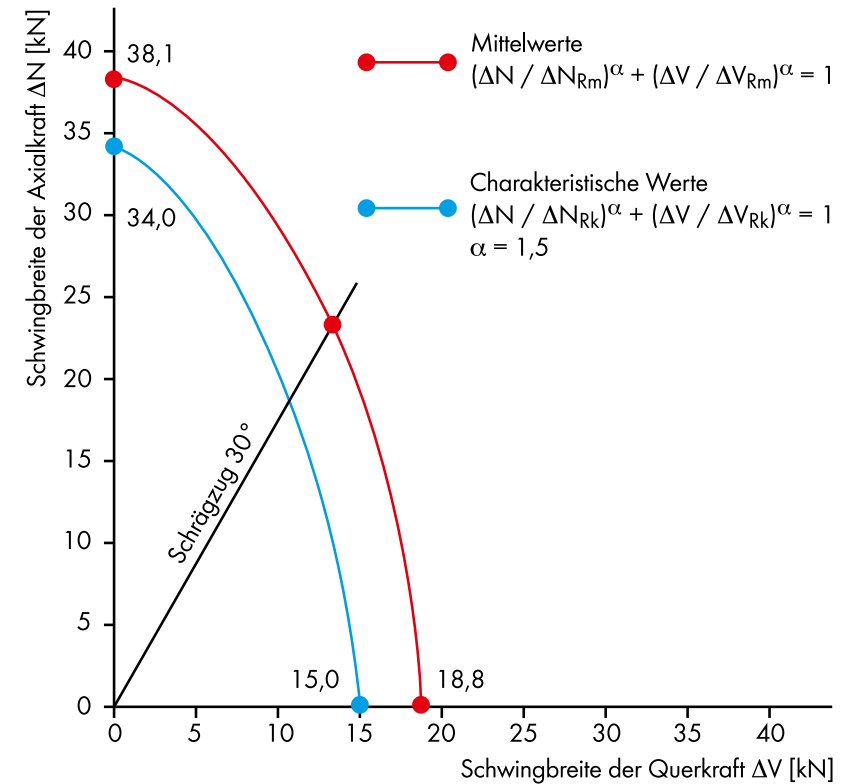


Bild 6.51: Interaktionsdiagramm der Ermüdungstragfähigkeit bei $2 \cdot 10^6$ Schwingspielen für ausschließlich nicht ruhende schwellende Einwirkungen für einen Würth Verbundanker W-VIZ DYNAMIC M12 (vgl. Kapitel 5.4.7.3, Bild 5.27)

7 Sonderbefestigungen

7.1 Befestigung von Markisen

7.1.1 Allgemeines

Die DIN EN 13561 „Markisen – Leistungs- und Sicherheitsanforderungen“ regelt die Anforderungen in Bezug auf die Gebrauchstauglichkeit von Markisen sowie die CE-Kennzeichnung von Markisen. Sie gilt für Gelenkarmmarkisen, Kastenmarkisen, Scherenarmmarkisen, Fallarmmarkisen, Senkrechtmarkisen, Markisoletten, Fassadenmarkisen, Dachflächenfenstermarkisen, Wintergartenmarkisen, Korbmarkisen und Insektenschutz, wenn diese nach dem Ausgabedatum der Norm hergestellt wurden.



Bild 7.1: Befestigung von Markisen

7.1.2 Hinweise in der Norm auf die Befestigungstechnik

Der Unterpunkt 17 „Handhabung- und Lagerung“ gibt folgende Hinweise in Bezug auf die Befestigung: 17.3 Leistungsanforderung: „... Spezielle Einrichtungen für Zusammenbau, Befestigung und Halterung, z. B. geeignete Halter, müssen zur Verfügung gestellt werden ...“

Außerdem gibt der Unterpunkt 18 „Anleitungen für Handhabung, Auspacken und Einbau“ Anforderungen an die Anleitung vor.

18.3.2.1 Allgemeine Anleitungen: „... Die Anleitungen müssen ein schrittweises Vorgehen in der richtigen Reihenfolge der Tätigkeiten beinhalten, um einen geeigneten und sicheren Einbau zu erreichen, z. B. Anleitung für Zusammenbau, Einbau und Befestigung ...“

Weitere Regelungen in Bezug auf die Befestigung der Markise am Bauobjekt legt die Norm nicht fest. Die gesamte Norm kann über den Beuth Verlag (www.beuth.de) bezogen werden.

7.1.3 Vorhandene Richtlinien

Eine deutliche Konkretisierung erfolgt in den Richtlinien des Bundesverbands Konfektion Technischer Textilien e. V. (BKTex¹⁾):

- „Richtlinien zur technischen Beratung, zum Verkauf und zur Montage von Gelenkarmmarkisen“ (Januar 2008)
- „Sicherheitshinweise in Montage- und Bedienungsanleitungen für Markisen“ (Januar 2006)
- „Windlasten zur Konstruktion von Abschlüssen und Markisen im eingefahrenen Zustand“ (Mai 2008)

¹⁾ BKTex wurde in der Zwischenzeit in den Industrieverband Technische Textilien – Rollläden – Sonnenschutz e. V., kurz ITRS, umbenannt.

Sonderbefestigungen

Hier wird die richtige Vorgehensweise in Bezug auf die Montage der Markise beschrieben. Außerdem werden Rechenwege zur Bestimmung der Dübelzugkräfte vorgegeben und geeignete Produkte für die Montage vorgeschlagen.

Die Richtlinien können über den Industrieverband Technische Textilien – Rollläden – Sonnenschutz e. V. (www.itrs-ev.de) bezogen werden.

7.1.4 Anforderungen an die Dübelssysteme, insbesondere Korrosionsschutz

Für die Befestigung von Markisen dürfen nur Befestigungsmittel mit allgemeiner bauaufsichtlicher bzw. europäischer technischer Zulassung eingesetzt werden. Im Bereich der Befestigungen in Mauerwerk wurde in der BKTex-Richtlinie festgelegt, inwieweit von den Zulassungen abgewichen werden darf. Grundsätzlich muss aber auch hier ein zugelassenes Injektionssystem eingesetzt werden. Die Abweichungen beziehen sich nur auf die Lasten und einige Systemteile. Hier wurde die Verwendung der in der Richtlinie explizit angegebenen Teile von den genannten Herstellern extra nachgewiesen.

Des Weiteren wurde in der überarbeiteten Richtlinie vom Januar 2008 eine genaue Definition der Anforderung in Bezug auf den Korrosionsschutz der Dübel beim Einsatz für die Befestigung von Markisen vorgenommen. Im Allgemeinen gilt in den Dübelzulassungen, dass im Außenbereich zwingend mindestens rostfreier Stahl in der Güte A4 eingesetzt werden muss. Im Bereich von hoher chemischer Belastung oder Belastung durch Meerwasser muss sogar hoch korrosionsbeständiger Stahl mit der Werkstoffbezeichnung 1.4529, sogenannter HCR-Stahl, verwendet werden. Für die aktuelle Richtlinie wurde aufgenommen, wann verzinkter Stahl im Außenbereich ausreichend sein kann und wann rostfreier Stahl eingesetzt werden muss. Diese Betrachtungen wurden speziell für den praktischen Einsatz bei Gelenkarmmarkisen durchgeführt. Da Gelenkarmmarkisen aufgrund ihrer Konstruktion regelmäßig gewartet werden sollen, wurde festgelegt, dass im Rahmen der Wartung der Markise auch die Dübelbefestigungen auf beginnende Korrosion hin überprüft werden müssen. Werden die Dübel regelmäßig überprüft, ist eine Verwendung von galvanisch verzinkten Dübeln im Außenbereich möglich. Diese Regelung wurde auf eine Anbringungshöhe von 8 m über Gelände beschränkt. Des Weiteren muss eine Schutzabdeckung in Form eines Regendachs, eines Dachvorsprungs oder Ähnlichem vorhanden sein, damit die Befestigung nicht direkt Wind und Wetter ausgesetzt ist.

Bei hinterlüfteten Fassaden wurde die strikte Reglementierung der Dübelzulassungen auch in die Richtlinie übernommen. Es ist in diesem Anwendungsfall nicht möglich, die Verankerung auf eine mögliche Korrosion hin zu kontrollieren. Für die Befestigungen im Bereich von Industriatmosphäre und in Meeresnähe wurden ebenfalls die strengen Regelungen der Dübelzulassungen übernommen. Auch hier muss zwingend rostfreier Stahl eingesetzt werden.

7.1.5 Berechnungsgrundlagen für die am Dübel angreifende Last

Zur Berechnung der Dübelbelastungen gemäß der BKTex-Richtlinie werden das Eigengewicht der Markise und die Belastung durch Wind herangezogen. Als Grundlage für die Bestimmung der Windbelastung ordnet der Markisenhersteller deshalb – im Rahmen der CE-Kennzeichnung – seine Markise in eine von vier verschiedenen Windklassen ein. Weitere Lasten werden nicht betrachtet.

Berechnungsgleichung für die Windbelastung (F_W):

$F_W = \alpha_{\text{Last}} \cdot q \cdot B_T \cdot H$		(Gl. 7.1)
α_{Last}	nach der BKTex-Richtlinie	
0,4	für Markisen bis 3,5 m Ausfall und bis zu einer Gesamttafelgröße von 15,75 m ²	
0,5	für Markisen > 3,5 m Ausfall oder Tafelgröße > 15,75 m ²	
0,6	bei der Anwendung der Windwiderstandsklasse 3	

Windwiderstandsklassen nach DIN EN 13561

Klassen	0	1	2	3
Staudruck durch Wind q [N/m ²]	< 40	40	70	110
B_T Tuchbreite [m]				
H Ausfall nach DIN EN 1932 [m]				

7.1.6 Berechnungsbeispiel

Das nachfolgende Beispiel wurde der BKTEx-Richtlinie entnommen und gilt für eine Markise, die auf einem druckfesten Untergrund befestigt wird. Berechnungsbeispiele für nicht druckfeste Untergründe, die Verwendung von Distanzkonsolen, Deckenkonsolen und Befestigungsplatten können der BKTEx-Richtlinie entnommen werden.

Drehmoment am Verankerungspunkt der Markise M_{ges} [Nm]:

$$M_{ges} = (H + T_M) \cdot F_p + (0,5 \cdot H + T_M) \cdot (F_A + F_T + F_W) \quad (\text{Gl. 7.2})$$

Drehmoment pro Gelenkarm [Nm]:

$$M = M_{ges} / 2 \quad (\text{Gl. 7.3})$$

Auszugskraft an den oberen Befestigungsmitteln F_B [N]:

$$F_B = M / (O_B - s) / K / n \quad (\text{Gl. 7.4})$$

T_M	Hintere Kante Konsole bis Mitte Tuchwelle	[m]
O_B	Abstand Mitte oberer Befestigungspunkt bis Unterkante Konsole	[m]
F_p	Gewichtskraft Ausfallprofil	[N]
F_A	Gewichtskraft Gelenkarme	[N]
F_T	Gewichtskraft Markisentuch	[N]
F_W	Windkraft	[N]
s	Statisch erforderliche Drehpunktverschiebung um 0,01 m	
K	Anzahl der armenahen Konsolen pro Gelenkarm	
n	Anzahl der oberen Befestigungsmittel pro Konsole (minimale Achsabstände und dazugehörige Lasten sind den entsprechenden Dübelzulassungen zu entnehmen)	

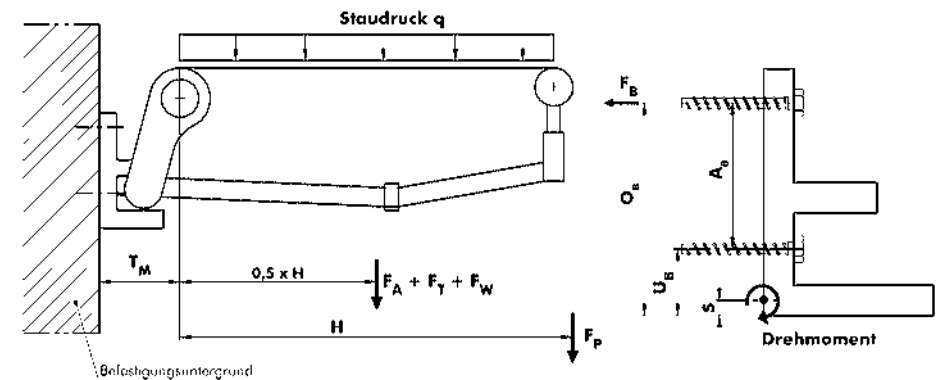


Bild 7.2: Schematische Darstellung einer Markise

7.1.7 Anforderungen an den Monteur

Der Monteur muss die Markise entsprechend den nach obigem Schema berechneten Lasten sicher befestigen. Dazu muss er gemäß den BKTEx-Richtlinien in der Lage sein, den Montageuntergrund auf seine Tragfähigkeit hin zu beurteilen und mit diesem Wissen die passenden Konsolen in der erforderlichen Anzahl festzulegen sowie ein für den vorliegenden Untergrund geeignetes Befestigungssystem auszuwählen.

Kann die berechnete Belastung aufgrund einer zu hohen Windlast nicht in den Untergrund eingeleitet werden, z. B. weil ein wenig tragfähiges Mauerwerk vorliegt, dann muss der Monteur die Windklasse in Abhängigkeit von der in den Untergrund übertragbaren Last reduzieren und die Belastung neu berechnen. Dies bedeutet, dass er seinen Kunden schriftlich darauf hinweisen muss, dass die Windklasse aufgrund der Befestigung im Untergrund verringert werden musste und die Markise deshalb bei entsprechender Windbelastung eingefahren werden muss.

7.1.8 Gedämmte Untergründe

Vor allem im Bereich der nachträglichen Befestigung von Sonnenschutzmaßnahmen tritt sehr oft der Fall auf, dass der Verankerungsgrund mit einer zusätzlichen Dämmung versehen wurde. Auch bei hoch dämmendem Mauerwerk (ohne zusätzliche Isolierung) ist immer eine Dämmung im Bereich der Betondecke vorhanden. Hier muss die Dämmschicht druckfest überbrückt werden, um diese nicht zu beschädigen und die Einleitung von Druckkräften in den Untergrund zu ermöglichen bzw. die Ankerplatte gegen den Untergrund zu spannen. Wenn die Lage der Befestigung vor Anbringung der Dämmung bereits bekannt ist, kann z. B. eine Konsole für die Montage direkt am Verankerungsgrund angedübelt werden. Wird aber erst nach Anbringen der Dämmung entschieden, dass eine Markise angebracht werden soll, kann das Würth System Amo-Max eingesetzt werden. Bei diesem System wird die Dämmung über eine Aluminiumhülse überbrückt. Zum Ausgleich der verschiedenen Putzsichtdicken werden Unterlegringe angeboten. Bei dieser Art der Montage muss auf die richtige Länge des Dübelsystems geachtet werden, da eine Isolierschicht und eine vorhandene Putzsicht nicht zur Lastenleitung beitragen.



Bild 7.3: Schematische Darstellung des System Amo-Max

7.2 Befestigung von Fassadengerüsten²⁾

7.2.1 Allgemeines

Wie bereits bei den Gelenkarmmarkisen in Kapitel 7.1 erwähnt, gibt es Sonderfälle, bei denen durch anders lautende allgemein anerkannte Regeln der Technik von den geltenden Zulassungen abgewichen werden kann, um eine sinnvolle Befestigungslösung für diesen speziellen Anwendungsfall zu finden. In diesen Bereich fällt auch die Befestigung von Arbeitsgerüsten, die als Fassadengerüste mit Dübeln befestigt werden. Da die Regelungen bzw. Zulassungen für Fassadengerüste von einer Standzeit von maximal zwei Jahren ausgehen, sind die derzeit gültigen Sicherheitskonzepte für die allgemeine Dübeltechnik, die von einer Nutzungsdauer von mindestens 50 Jahren ausgehen, im Bereich der Fassadengerüste nicht immer anwendbar. Eine direkte Anwendung dieser Regelungen (vgl. [73], [45] usw.) führt für die Dübel zu zulässigen Lasten, mit denen die beispielsweise in den Zulassungen der Gerüsthersteller angegebenen und für die Fassadengerüste notwendigen Befestigungsanforderungen nicht erreicht werden können. Vor allem bei Fassadengerüsten die, wie in Bild 7.4 dargestellt, mit einem engmaschigen Netz bzw. einer Plane verhängt werden, können charakteristische Zuglasten im Bereich von über 5 kN pro Befestigungsstelle auftreten. Weitere allgemeine Informationen zu Arbeitsgerüsten, den gültigen Normen und der Lastermittlung in diesem Bereich kann dem Beitrag von Jeromin Wolf im Mauerwerk-Kalender 2009 [91] entnommen werden. Nachfolgend werden nur die vorhandenen Regelungen im direkten Bereich der Verankerungen in Mauerwerk kurz dargestellt.

2) Dieses Kapitel wurde dem Artikel „Dübeltechnik praxisnah, Teil 2: Bemessung und Ausführung von Sonderbefestigungen in Mauerwerk“ im Mauerwerk-Kalender 2012 [93] entnommen.



Bild 7.4: Fassadengerüst mit engmaschigem Netz (Bild Küenzlen)

7.2.2 Regelungen

In den allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen der für den Aufbau von Fassadengerüsten eingesetzten Systemgerüste (vgl. z. B. [16]) ist ganz klar dargelegt:

„Die Verankerung der Gerüsthälter an der Fassade oder an anderer Stelle am Bauwerk sind nicht Gegenstand der Zulassung. Der Anwender hat dafür Sorge zu tragen, dass diese Kräfte aus den Gerüsthältern sicher aufgenommen und abgeleitet werden können. Vertikalkräfte dürfen dabei nicht übertragen werden.“

Unter anderem dieses Umstands, dass die Gerüstzulassungen die Verankerung an der Fassade nicht einschließen, nimmt sich die „Handlungsanleitung für den Umgang mit Arbeits- und Schutzgerüsten“ der Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft an [4]. In dieser Handlungsanleitung ist das Thema Verankerungen mit einem eigenen Sicherheitskonzept dargestellt. Dabei sind die Lasten, die der Dübel aufnehmen muss, den Aufbau- und Verwendungsanleitungen, den Montageanleitungen oder den statischen Berechnungen zu entnehmen. Die Verankerungen müssen außerdem fortlaufend mit dem Gerüstaufbau eingebaut werden.

7.2.3 Verankerung

Die Dübel müssen für die Verankerung von Fassadengerüsten in ausreichend tragfähigen Untergrund eingebaut werden. Dazu gehören beispielsweise Stahlbetondecken, Wände oder Stützen nach DIN 1045 bzw. DIN EN 1992 und tragendes Mauerwerk nach DIN 1053. Nicht geeignet sind beispielsweise Befestigungen an Schneefanggittern oder Fensterrahmen. Die Tragfähigkeit der Dübel kann durch eine Zulassung des Dübels (statische Bemessung, vgl. z. B. [73]), oder eine Probelastung direkt auf der Baustelle belegt werden.

Für den Untergrund Beton gibt es verschiedene Dübelssysteme, die die erforderlichen Lasten nach den Regelungen der Zulassungen in den Untergrund einleiten können. Dazu gehören beispielsweise Bolzenanker (vgl. Kapitel 5.4.2.1) oder auch Injektionssysteme für gerissenen Beton (vgl. Kapitel 5.4.7.2).

Bei Mauerwerk ist es derzeit in der Regel kaum möglich, die erforderlichen Lasten mit einem Kunststoffdübel über eine gültige allgemeine bauaufsichtliche oder europäische technische Zulassung abzudecken. Um zumindest die Qualitätssicherheit eines zugelassenen Produkts zu gewährleisten (Eigen- und Fremdüberwa-

chung), wurde in die europäische technische Zulassung ETA-11/0309 für den Würth Kunststoff Rahmendübel W-UR 14 SymCon eine Gerüstössenschraube und eine Stockschraube mit Anschlussgewinde M 12 integriert.



Bild 7.5: Würth Kunststoff-Rahmendübel W-UR 14 SymCon mit Gerüstössenschraube (nach ETA-11/0309)

Da die Lasten im Rahmen des Sicherheitskonzepts einer ETA (vgl. z. B. [73] und ETA-11/0309) für Kunststoff-Rahmendübel für die Gerüstbefestigungen oft nicht ausreichen, müssen die aufnehmbaren Lasten nach der oben genannten Handlungsanleitung der Berufsgenossenschaft ermittelt werden. Die Probelastungen sind direkt auf der Baustelle auszuführen und müssen mit dafür geeigneten Prüfgeräten durchgeführt werden. Die zu prüfenden Dübel müssen dazu von einer dafür befähigten Person festgelegt werden. Die Prüflast wird in der Handlungsanleitung der Berufsgenossenschaft in diesen Fällen auf das 1,2-Fache der für die Gerüstbefestigung erforderlichen Last festgelegt. In Beton müssen, sofern keine zugelassenen Dübel mit entsprechenden zulässigen Lasten verwendet werden (z. B. einfache Gerüstdübel aus Kunststoff), mindestens 10 % aller verwendeten Dübel geprüft werden. In Mauerwerk streuen die Dübelauszuglasten deutlich stärker, beispielsweise durch Fugen oder unterschiedliche Steinarten bei verputztem Mauerwerk im Altbaubereich. Aus diesem Grund sind hier mindestens 30 % der Dübel vor Ort zu prüfen. Dabei ist zu beachten, dass immer ein Minimum von 5 Dübeln geprüft werden muss.

Können die erforderlichen Lasten nicht erreicht werden, ist die Ursache zu ermitteln und eine Ersatzbefestigung einzubauen. Gegebenenfalls kann es auch erforderlich werden, den Prüfumfang zu erhöhen. Über die gesamten Prüfungen ist eine schriftliche Dokumentation zum Nachweis der durchgeführten Prüfungen anzufertigen (Muster siehe [4]). Diese Dokumentation muss mindestens über die Standzeit des Gerüsts aufbewahrt werden.

Die Probelastungen nach [4] gelten nur für Dübel von einmalig temporär angebrachten Fassadengerüsten, d. h., die Dübel werden nach dem Abbau des Gerüsts nicht wieder verwendet.

Im Rahmen eines erforderlichen Standsicherheitsnachweises für Verankerungen von Arbeitsgerüsten (Fassadengerüsten), die regelmäßig und dauerhaft verwendet werden, um beispielsweise in Zeitintervallen > 2 Jahre wiederholt Wartungs- oder Reinigungsarbeiten ausführen zu können, kommen nur Dübel infrage, die über eine Zulassung oder eine Zustimmung im Einzelfall geregelt sind.

Diese Unterscheidung zwischen einer dauerhaften und einer einmalig verwendeten Gerüstverankerung kann zum einen damit begründet werden, dass die dauerhaften Befestigungen (zulassungspflichtig) im Zuge der erstmaligen Gerüstmontage angebracht werden, diese dann aber für längere Zeit z. B. hinter einer Dämmung/Fassadenplatte nicht mehr zugänglich sind. Wird dann beispielsweise für einen neuen Anstrich oder die Reinigung der Fassade der Befestigungspunkt erneut verwendet, dann muss sich der „Zweitverwender“ auf diese tragfähige Befestigung verlassen können. Er hat dann oft keine Möglichkeit, die Dübel zu prüfen. Deshalb sind hier die Vorschriften in den entsprechenden Dübel-Zulassungen einzuhalten. Des Weiteren sind die Anforderungen an dauerhafte Gerüstverankerungen, wenn tragende Bauteile einer Außenwand mit Platten bekleidet oder Vorhangfassaden angebracht werden, über DIN 4426 geregelt. Bei einmaliger Verwendung der Befestigungspunkte dagegen hat der Gerüstmonteur bei seinem eigenen Gerüst nach [4] selbst dafür Sorge zu tragen, dass die Dübel korrekt montiert werden und von ihm im entsprechenden Umfang geprüft und dokumentiert wurden.

Dübelssysteme sind in der Regel nicht für die Aufnahme von Drucklasten ausgelegt, Zulassungen und Herstellerunterlagen enthalten im Allgemeinen dazu keine Regelungen. Hier ist deshalb der Einbau einer Druckabstützung zu empfehlen (Bild 7.6), jedoch muss insbesondere bei modernen Baustoffen darauf geachtet werden, dass die Abstützkonstruktion nicht in den Untergrund eingedrückt wird.



Bild 7.6: Druckabstützung bei einem Arbeitsgerüst (Bild: Wilhelm Layher GmbH & Co. KG)

7.2.4 Alternativen zu langen Össenschrauben

In der Praxis werden bei der Befestigung von Fassadengerüsten sehr oft lange Össenschrauben eingebaut (siehe Bild 7.7).



Bild 7.7: Befestigung eines Arbeitsgerüsts mit langen Ösenschrauben bei der Montage eines WDV-Systems (Bild: Künzlen)

Diese Schrauben können zwar bei ausreichend tragfähigem Untergrund die auftretenden Zuglasten übertragen, nicht jedoch die Querlasten parallel zur Fassade (d. h. in Längsrichtung der Belagsebene). Bild 7.8 zeigt typische Last-Verformungskurven unter Querbeanspruchung einer Ösenschraube mit einem Abstand von der Öse zur Wand von rund 180 mm. Man erkennt deutlich, dass selbst bei großen Verformungen von rund 20 mm nur eine Last von ca. 0,5 kN parallel zur Fassade übertragen werden kann.

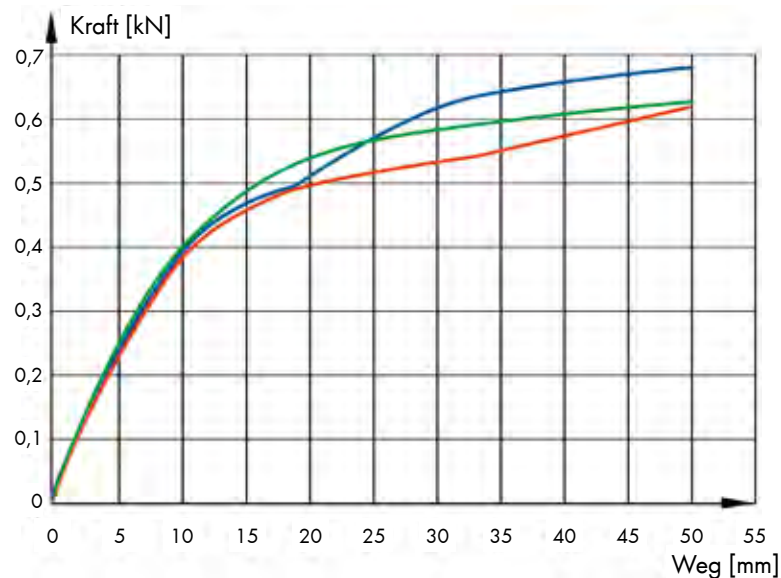


Bild 7.8: Typische Last-Verformungskurven unter Querbeanspruchung einer Ösenschraube mit einem Abstand von der Öse zur Wand von ca. 180 mm

Das „Merkblatt zur Verankerung von Arbeits- und Schutzgerüsten in Fassaden mit Wärmedämmverbundsystemen“ [64] gibt für Ösenschrauben mit einem maximalen Abstand zwischen Öse und Verankerungsgrund von ca. 70 mm eine maximal übertragbare Querlast von 0,5 kN an (bei Verwendung einer Schraube mit einem Durchmesser von 12 mm). „Bei Schaftlängen zwischen 20 cm und 40 cm hat die Schraube parallel zur Fassade praktisch keine Tragfähigkeit mehr“ [64]. Dies zeigt auch bereits das Last-Verformungsverhalten der geprüften Ösenschrauben (Bild 7.8).

Diese nach [64] übertragbare Last (0,5 kN) reicht in der Regel für die Anforderungen bei der Befestigung eines Arbeitsgerüsts nicht aus. Eine Möglichkeit zur Übertragung von Lasten parallel zu Fassade – bei Verwendung von kurzen Ösenschrauben – ist die Ausbildung sogenannter V-Anker (Bild 7.9).

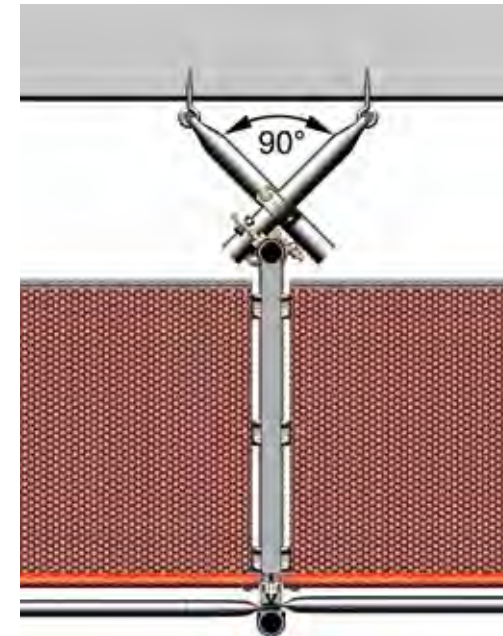


Bild 7.9: Schematische Darstellung eines V-Ankers zur Übertragung von Lasten parallel zur Fassade (Bild: Wilhelm Layher GmbH & Co. KG)

Sollen Lasten bei der Montage eines Wärmedämm-Verbundsystems (WDVS) parallel zur Fassade eingeleitet werden, sieht das „Merkblatt zur Verankerung von Arbeits- und Schutzgerüsten in Fassaden mit Wärmedämmverbundsystemen“ [64] die Befestigung an dauerhaften Verankerungssystemen vor. Solche Systeme, die dauerhaft am Bauwerk verbleiben, werden inzwischen von verschiedenen Herstellern angeboten.

Als weitere Alternative für die Befestigung von Fassadengerüsten mit langen Ösenschrauben gibt es auf dem Markt Systeme, die nach Verwendung wieder demontiert und bis auf den Dübel selbst mehrfach verwendet werden können (Bild 7.10).



Bild 7.10: Schematische Darstellung eines demontierbaren „WDVS Ankers“ (Bild: Wilhelm Layher GmbH & Co. KG)

Der eigentliche Unterschied dieser beiden Systeme – beide Systeme werden zur Verankerung im Bereich von WDVS verwendet – liegt in der Befestigung selbst. Entscheidend ist an dieser Stelle, dass die Dübel bei einem dauerhaft im Bauwerk verbleibenden Verankerungssystem Bestandteil des Gesamtsystems sind und deshalb über eine Zulassung oder über eine Zustimmung im Einzelfall geregelt sein muss (vgl. Kapitel 9.1.3). Bei demontierbaren Systemen, deren Nutzungsdauer unter zwei Jahren liegt und die mit dem Gerüst entfernt werden, gelten dagegen die Regelungen in Bezug auf die Möglichkeiten der Probelastungen, wie zuvor bereits erläutert bzw. in [4] dargestellt.

7.2.5 Montage von Dübeln

Bei der Montage der Dübel für die Befestigung eines Fassadengerüsts muss darauf geachtet werden, dass die Achs- und Randabstände aus den Herstellerunterlagen bzw. den Zulassungen eingehalten werden. Die angegebenen Randabstände sind in diesen Unterlagen meist so zu verstehen, dass geringere Randabstände bereits bei der Montage zu Spaltissen im Untergrund führen können. Dies muss vor allem bei der Verankerung eines Fassadengerüsts an Gebäudeecken und an Öffnungen beachtet werden, damit die Tragfähigkeit des gewählten Dübel systems nicht bereits bei der Montage reduziert wird.

7.3 Direktmontage

7.3.1 Ein- und mehrstufiges Befestigungsverfahren

Die Direktmontage gibt es als ein- bzw. mehrstufiges Befestigungsverfahren. Beim einstufigen Verfahren wird der Setzbolzen ohne weitere Vorarbeiten (z. B. Bohren) direkt in den Verankerungsgrund eingetrieben. Daraus resultiert für den Anwender ein wesentlicher Zeitvorteil gegenüber dem mehrstufigen Befestigungsverfahren. Nachteil des einstufigen Verfahrens ist jedoch, dass die übertragbaren Lasten gering sind und mit Setzausfällen, beispielsweise wenn direkt unter der Betonoberfläche ein Zuschlagskorn getroffen wird, gerechnet werden muss. Beim mehrstufigen Verfahren wird eine Bohrung mit geringer Tiefe erstellt. In diese Bohrung wird dann der Setzbolzen, wie beim einstufigen Verfahren, eingetrieben. Dadurch ist eine deutliche Laststeigerung möglich. Dies liegt daran, dass die Spitze des Setzbolzens um die Tiefe der Vorbohrung (bei gleicher Ladungsstärke) tiefer in den Beton eindringt und damit die Betonausbruchslast deutlich erhöht wird. Bild 7.11 zeigt einen Betonausbruch bei Verwendung des Setzbolzens W-PN mit Vorbohrung.



Bild 7.11: Betonausbruch bei Verwendung des Setzbolzens W-PN in ungerissem Beton (mit Vorbohrung 20 mm)

Des Weiteren bietet das mehrstufige Verfahren die Sicherheit, dass keine Setzausfälle auftreten. Das mehrstufige Verfahren ist in Bild 7.12 dargestellt.

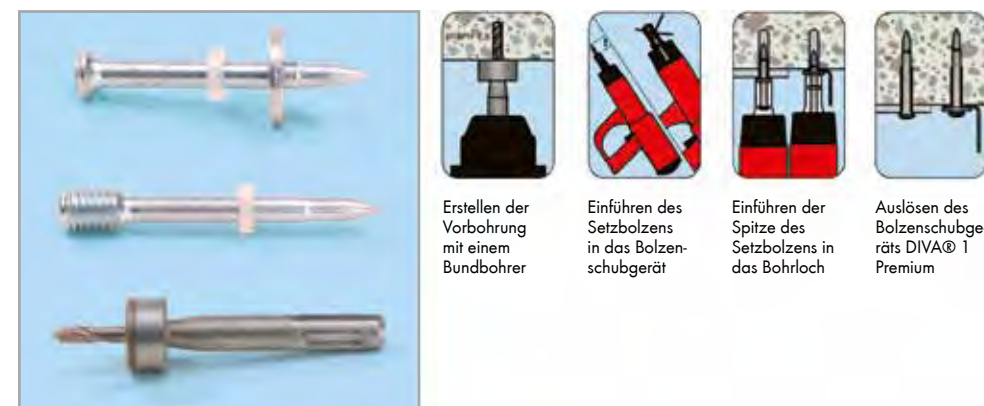


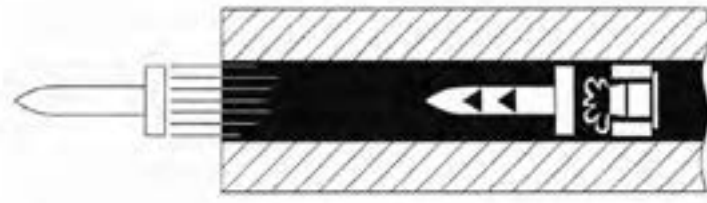
Bild 7.12: Setzvorgang bei Verwendung des Setzbolzens W-PN

7.3.2 Funktionsweise von Bolzenschubgeräten

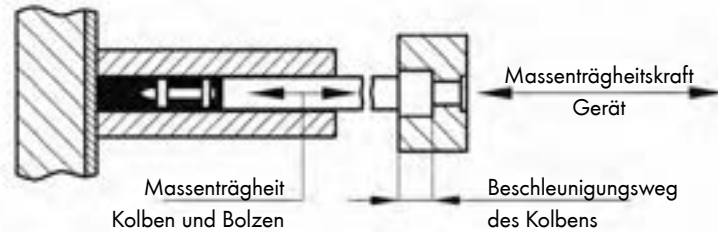
Bolzensetzwerkzeuge sind Werkzeuge, mit denen Setzbolzen mittels Kartuschen in den Verankerungsgrund eingetrieben werden. Das Eintreiben erfolgt über zwei unterschiedliche Funktionsprinzipien, das Schuss- bzw. das Kolbenprinzip, die in Bild 7.13 dargestellt sind.

Beim Schussprinzip wird die gesamte Energie der Treibladung auf den Bolzen/Nagel übertragen. Dies kann zu einem Durchschießen von dünnen oder weniger festen Verankerungsgründen führen. Aufgrund der großen damit verbundenen Unfallgefahren sind Geräte dieser Bauart in Deutschland verboten.

Beim Kolbenprinzip wird die Energie der Treibladung zu ca. 95 % auf den Kolben und nur zu ca. 5 % auf den Setzbolzen übertragen. Da der Kolben das Gerät nicht verlassen kann, besteht keine Gefahr für den Anwender.



a) Schussprinzip



b) Kolbenprinzip

Bild 7.13: Wirkungsprinzipien von Setzgeräten

Bolzenschubwerkzeuge sind anwendungssicher konstruiert. Sie müssen folgende Konstruktionsregeln erfüllen:

- Schussbereitschaft erst nach Anpressen der Mündung
- Anpressen allein bewirkt jedoch kein Zünden bzw. Auslösen
- Erfüllen der Fallsicherungsprüfung (kein Auslösen beim Herunterfallen)
- Zünden ist nur bei geschlossenem Setzgerät möglich

Bolzenschubgeräte dürfen nur verwendet werden, wenn an ihnen folgende Angaben deutlich erkennbar und dauerhaft angebracht sind:

- Zulassungszeichen
- Name oder Warenzeichen des Herstellers
- Typenbezeichnung
- Bezeichnung der vorgeschriebenen Munition
- Seriennummer
- Prüfzeichen

Der Anwender muss folgende Anforderungen erfüllen:

- Der Anwender muss über 18 Jahre alt sein.
- Der Anwender sollte verantwortungsvoll mit diesem Gerät umgehen.
- Ist der Anwender unter 18 Jahren alt, so muss er unter Aufsicht eines über 18-Jährigen arbeiten.
- Der Anwender muss mit der Handhabung und dem Einsatz des Geräts vertraut sein.
- Der Anwender muss die beim Arbeiten mit dem Gerät auftretenden Gefahren kennen.
- Darüber hinaus ist der Anwender verpflichtet, dem Hersteller das Bolzenschubwerkzeug alle 2 Jahre (gemäß Prüfzeichen) – bei wesentlichen Funktionsmängeln unverzüglich – zur Wiederholungsprüfung vorzulegen.

Weitergehende besondere Anforderungen werden an den Anwender laut Waffengesetz und Unfallverhütungsvorschriften BGV D9 ([12], ehemals VBG 45) nicht gestellt. Wesentliche Aspekte und Auswahlkriterien für die Direktmontage sind in Tabelle 7.1 dargestellt.

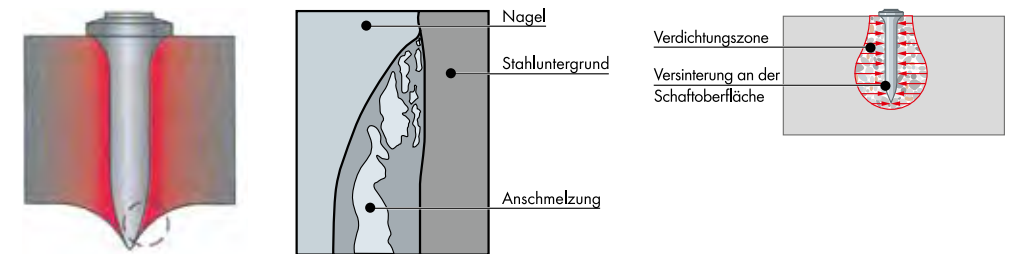
Auswahlkriterien für Direktmontagetechnik		
Lasten	Verankerungsgrund	Weitere Aspekte
$F_{u, \text{Beton}} < \text{zul } F_{u, \text{Stahl}}$	■ Beton C12/15 bis C40/50 ■ Stahl mit $f_{uk} \leq 450 \text{ N/mm}^2$ und Stahlguss ■ Kalksandvollstein	■ Reversible Befestigungen ■ Temporäre Befestigungen ■ Schnelligkeit ■ Wirtschaftlichkeit

Tabelle 7.1: Aspekte bei der Direktmontagetechnik

Nachfolgend wird die Montage in Beton und Stahl sowie das Tragverhalten im Ankergrund Beton erläutert.

7.3.3 Tragverhalten im ungerissenen Beton

Beim Eindringen des Nagels/Bolzens in den Untergrund wird das Trägermaterial verdrängt und verdichtet. Außerdem wird durch die hohe Eintreibgeschwindigkeit eine Temperaturerhöhung an der Bolzenoberfläche erzeugt, die zu einer Versinterung des Betons mit dem Setzbolzen (Stoffschluss) führt. Außerdem wird die Bolzenoberfläche aufgeraut. Diese Effekte bewirken einen verbesserten Haftschluss zwischen Bolzen und Beton. Durch Stoffschluss und Reibschluss hält der Nagel im Untergrund.



Eingetriebener Nagel in Stahl (schematisch)

Darstellung der Anschmelzung im Spitzenbereich

Eingetriebener Nagel in Beton (schematisch)

Bild 7.14: Tragmechanismus von Setzbolzen in Stahl und Beton

Unter Zuglast tritt das Versagen nicht in der Grenzfläche zwischen Bolzen und Beton, sondern im Beton auf. Die Tragfähigkeit wird im Wesentlichen von der Eindringtiefe der Bolzen bestimmt (Bild 7.15). Bei härteren Zuschlägen oder einem Eintreiben unter ungünstigem Winkel werden die Bolzen abgelenkt und es kann zu Setzausfällen kommen. Der Anteil der Setzausfälle steigt mit zunehmender Betondruckfestigkeit und maximaler Korngröße an (ca. 10 % bis 20 %).

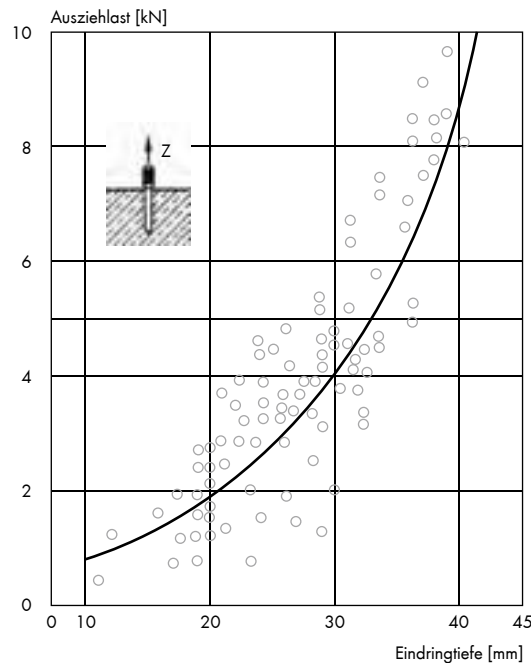


Bild 7.15: Bruchlasten von Setzbolzen unter zentrischer Zugbeanspruchung in Abhängigkeit von der Eindringtiefe [74]

7.3.4 Tragverhalten im gerissenen Beton

Die beim Eintreiben des Bolzens geweckten Druckspannungen werden durch Risse sehr stark abgebaut, insbesondere Druckspannungen senkrecht zum Riss. Dadurch wirken bei Rissbreiten $> 0,2$ mm nur noch sehr geringe Druckspannungen, jedoch bewirkt die Versinterung mit dem Beton sowie die Aufrauung der Bolzenoberfläche einen sehr guten Verbund zwischen Bolzen und Beton. Diese Verbundfestigkeit ist in der Regel größer als die Zugfestigkeit des Betons. Daher verläuft der Versagensriss auch im gerissenen Beton durch den Beton selbst und nicht in der Grenzfläche zwischen Bolzen und Beton. Demzufolge wird das Tragverhalten im gerissenen Beton wesentlich durch die Verzahnung der Rissufer bestimmt. Das Versagen erfolgt durch Herausziehen der Bolzen mit anhaftenden Betonresten. Die Tragfähigkeit von Setzbolzen wird durch Risse sehr stark reduziert. Deshalb sind Setzbolzen als Einzelbefestigungen im gerissenen Beton nicht zugelassen.

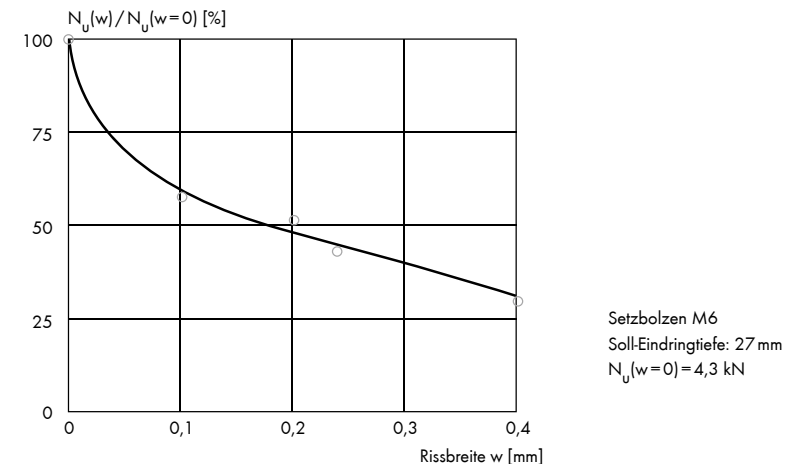


Bild 7.16: Relative Bruchlast von Setzbolzen unter zentrischer Zugbeanspruchung in Abhängigkeit von der Rissbreite [74]

7.3.5 Montage und Anwendungsbedingungen

Der Anwender wählt entsprechend dem vorliegenden Untergrund die erforderliche Kartuschenstärke und lädt das Gerät entsprechend den Herstellervorgaben (Tabelle 7.2). Es darf nur Munition verwendet werden, die in der Betriebsanleitung und auf dem Bolzenschubgerät angegeben ist, ein Herstellerkennzeichen trägt und mit dem Stärkegrad der Ladung gekennzeichnet ist.

Kennfarbe	Ladungsstärke	Untergrund
Grün	Schwach	Grüner Beton (Aushärtezeit < 28 Tage)
Gelb	Mittel	Beton C12/15 bis C30/37
Rot	Sehr stark	Stahl bis 450 N/mm^2 Zugfestigkeit Beton C30/37 bis C50/60 (vorgebohrt)

Tabelle 7.2: Kartuschenauswahl und Ladungsstärke in Abhängigkeit vom Ankergrund

Danach bestimmt der Anwender die erforderliche Nagellänge. Sie errechnet sich wie in Bild 7.17 (Beton) und Bild 7.18 (Stahl) angegeben. Bei der Montage sind die für Beton bzw. Stahl vorgegebenen Mindestabstände und Mindestdicken der Verankerungsgründe einzuhalten.

Beton: Eindringtiefe in das Bauteil beim einstufigen Befestigungsverfahren (min. 25 mm) + Anbauteil = Nagellänge

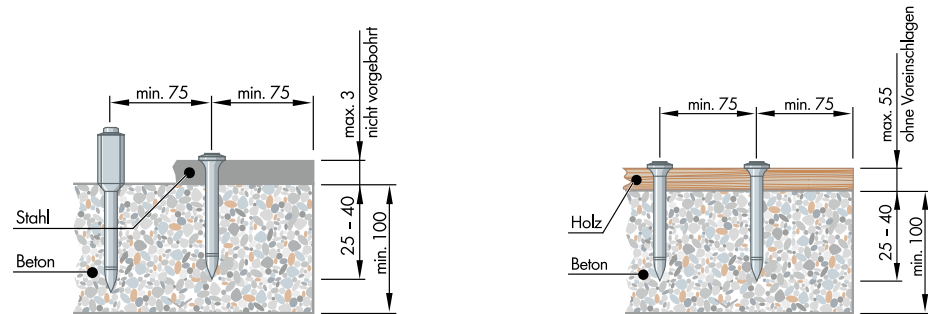


Bild 7.17: Eindringtiefen und Befestigungsabstände bei Befestigungen in Beton (minimale Verankerungstiefe 25 mm, Achs- und Randabstände mindestens 75 mm, Mindestbauteildicke 100 mm)

Stahl: Eindringtiefe in das Bauteil (8 - 12 mm) + Anbauteil = Nagellänge

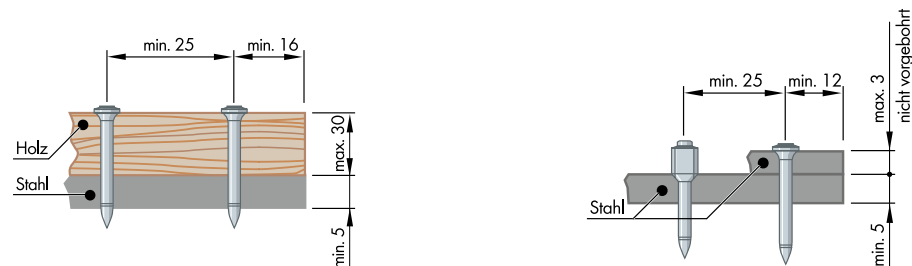


Bild 7.18: Eindringtiefen und Befestigungsabstände bei Befestigungen in Stahl (minimale Verankerungstiefe 8 mm, Achsabstand min. 25 mm, Randabstand min. 16 mm, Mindestbauteildicke 5 mm, Anbauteildicke max. 3 mm (nicht vorgebohrt))

Der ausgewählte Nagel/Bolzen wird in die Mündung des Bolzenschubgeräts gesteckt, die Mündung gegen den Untergrund gepresst, dann der Auslöser betätigt. Die Kartusche explodiert, beschleunigt den Kolben nach vorne, der Kolben schiebt nun den Nagel/Bolzen in den Befestigungsuntergrund.

7.3.6 Schubbolzentypen

Es gibt heute eine Vielzahl von verschiedenen Schubbolzentypen (Bild 7.19). Man teilt die Schubbolzentypen in 3 Gruppen ein:

- Nägel: Nägel, Stufennägel, Nägel mit Stahlrondelle, Nägel mit Kunststoffrondelle
- Gewindebolzen: M6, M8 mit verschiedenen Schaft- und Gewindelängen
- Spezialelemente: Dämmstoffhalter, Fixbriden, Kabelsammelhalter

Es dürfen nur Schubbolzen verwendet werden, deren Abmessungen und Führungsteile zum Bolzenschubwerkzeug passen und die mit einem Herstellerkennzeichen versehen sind. Alle Schubbolzentypen weisen ein Höchstmaß an Härte und Zähigkeit auf und werden aufwendigen thermischen Behandlungen ausgesetzt, damit sie die beabsichtigte Endstruktur und -festigkeit erreichen. Als Korrosionsschutz dient eine ca. 10 µm dicke Zinkschicht.



Bild 7.19: Beispiele für Schubbolzentypen

7.4 Eingemörtelte Bewehrungsstäbe

7.4.1 Allgemeines

Im Neubau sowie bei Renovierungen oder Nutzungsänderungen bestehender Gebäude werden immer häufiger Anschlüsse an bestehende Stahlbetonbauten durch Einmörteln von Bewehrungsstäben mit Verbundmörteln (sog. Rebar-Anwendungen) hergestellt. Die Zulassungsbescheide für nachträglich eingemörtelte Bewehrungsstäbe decken den Bereich der in der Praxis üblichen Bewehrungsstabdurchmesser ab. Damit werden beispielsweise Treppenpodeste oder Balkonplatten an Stirnseiten von Deckenplatten verankert, Wandscheiben an vorhandene Stützen oder Wände angeschlossen oder Stützen in Fundamentplatten verankert. Dabei werden die Bewehrungsstäbe im bestehenden bewehrten Betonbauteil verankert oder mit der vorhandenen Bewehrung gestoßen. Bild 7.20 zeigt Anwendungsbeispiele.

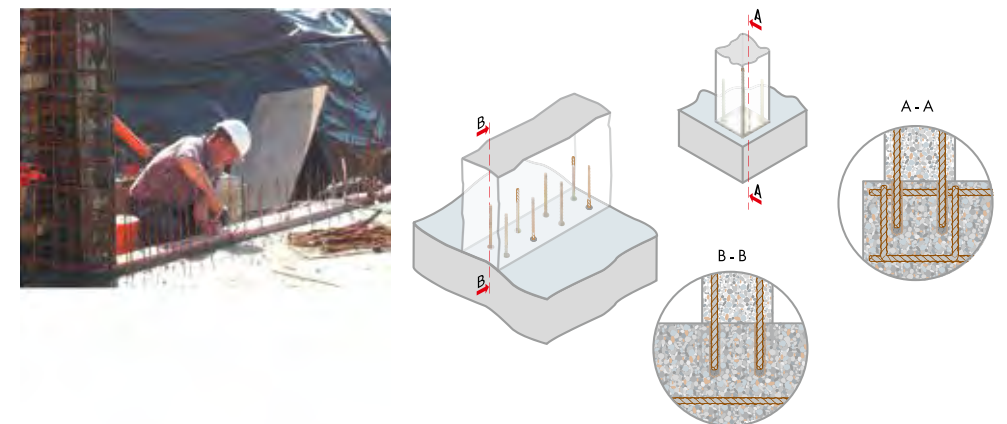


Bild 7.20 a: Beispiele für den Anschluss einer Wand oder einer Stütze mit nachträglich eingemörtelten Bewehrungsstäben (schematisch)

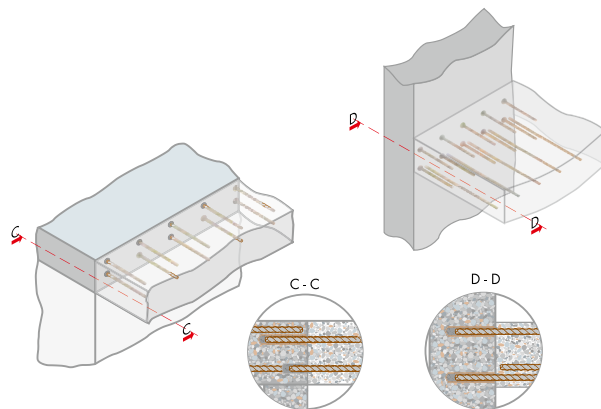


Bild 7.20b: Beispiele für den Anschluss einer Kragplatte mit nachträglich eingemörtelten Bewehrungsstäben (schematisch)

Die Realisierung nachträglicher Bewehrungsanschlüsse setzt voraus, dass geeignete Injektionsmörtel in Deutschland mit europäischer technischer (ETA) und allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung wie z. B. WIT-PE 500 verwendet werden, die auf der Baustelle fachgerecht zu verarbeiten und vom planenden Ingenieur normgerecht zu bemessen sind. Zur anwendungsgerechten Montage von nachträglich einzumörtelnden Bewehrungsstäben stellen die Hersteller Systemkoffer zur Verfügung, die alle für die fachgerechte Anwendung erforderlichen Teile enthalten (Bild 7.21).



Bild 7.21: WIT-Rebar-Systemkoffer mit Systemkomponenten zur Montage von eingemörtelten Bewehrungsstäben

7.4.2 Injektionsmörtel und Montage

Die auf dem Markt befindlichen Injektionsmörtel für Bewehrungsstäbe entsprechen prinzipiell den für Verbunddübelanwendungen zugelassenen chemischen Mörteln (vgl. Kapitel 5). Dies bedeutet, dass die Ver-

wendung der Injektionsmörtel hinsichtlich z. B. Langzeitverhalten, dauerhaftem Korrosionsschutz, Temperatur, Feuchtigkeit, chemischen Einflüssen, Bohrverfahren und Bohrlochreinigung im Rahmen des Zulassungsverfahrens geprüft und infolge der Erteilung des Zulassungsbescheids auch nachgewiesen ist. Injektionsmörtel für eingemörtelte Bewehrungsstäbe sind jedoch wegen der großen Verbundlängen hinsichtlich der Montageanforderungen und Lasteinleitung optimiert und in größeren Kartuschen erhältlich.

Die Montage des eingemörtelten Bewehrungsstabs beginnt mit dem Anzeichnen des Bohrlochs nach Vorgabe des planenden Ingenieurs. Daraufhin ist das Bohrloch immer senkrecht zur Oberfläche des Verankerungsgrunds zu erstellen. Als Bohrverfahren kommen je nach verwendetem Rebar-System Hammerbohren, Pressluftbohren und Diamantbohren zur Anwendung. Beim Bohren in Stirnseiten von Deckenplatten oder Wandscheiben ist die planmäßige Betonüberdeckung üblicherweise gering, um den Bewehrungsstahl hinsichtlich seiner Tragfähigkeit bestmöglich auszunutzen. Daher werden in diesen Fällen hohe Anforderungen an die Toleranzen der Betonüberdeckung des Bohrlochs gestellt. Mit einer speziellen Bohrhilfe (Bild 7.22) können Abweichungen der Bohrlochachse von $\leq 2\%$ verwirklicht werden. Bei Freihandbohrungen ist mit einer Abweichung von 6% zu rechnen. Die sich aus der Wahl des Bohrverfahrens ergebenden Abstände zum Bauteilrand zur Einhaltung der Mindestbetondeckungen (min c) sind in Tabelle 7.3 dargestellt. Beim Pressluftbohren wird während des Bohrvorgangs mehr Schlagenergie in den Untergrund eingebracht als beim Hammerbohren. Dies ist über die Vergrößerung der Mindestbetondeckung berücksichtigt. Bild 7.23 zeigt am Beispiel eines Übergreifungsstoßes, dass die Mindestbetondeckung bei Verwendung einer Bohrhilfe mit min $c = 56$ mm nahezu um den Faktor 2 geringer ist als beim Freihandbohren, für das ein min $c = 107$ mm erforderlich ist.

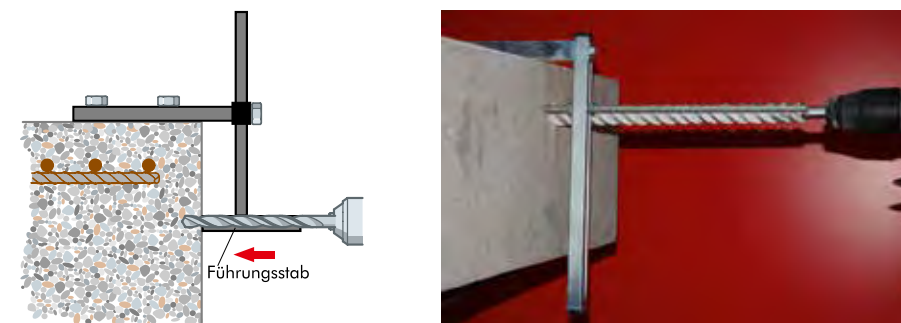
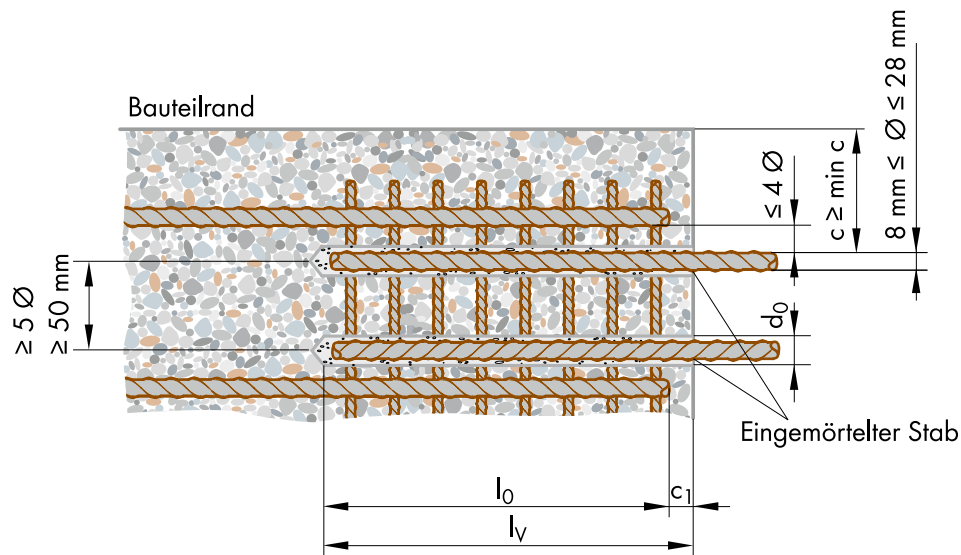


Bild 7.22: Bohrerstellung mit Bohrhilfe (Rebar-Systemkomponente)

Bohrverfahren	Stabdurchmesser d_s	Ohne Bohrhilfe	Mit Bohrhilfe
Hammerbohren/ Diamantbohren	< 25 mm	$30 \text{ mm} + 0,06 l_v \geq 2 d_s$	$30 \text{ mm} + 0,02 l_v \geq 2 d_s$
	≥ 25 mm	$40 \text{ mm} + 0,06 l_v \geq 2 d_s$	$40 \text{ mm} + 0,02 l_v \geq 2 d_s$
Pressluftbohren	< 25 mm	$50 \text{ mm} + 0,08 l_v$	$50 \text{ mm} + 0,02 l_v$
	≥ 25 mm	$60 \text{ mm} + 0,08 l_v$	$60 \text{ mm} + 0,02 l_v$

Tabelle 7.3: Mindestbetondeckung min c des eingemörtelten Bewehrungsstabs in Abhängigkeit vom Bohrverfahren nach bauaufsichtlicher Zulassung



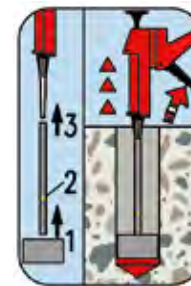
Beispiel: Hammerbohren, $d_s = 16 \text{ mm}$, $l_v = 80d_s = 1280 \text{ mm}$
 Bohrhilfe: $\min c = 30 + (1280 \cdot 0,02) = 56 \text{ mm}$
 Freihandbohren: $\min c = 30 + (1280 \cdot 0,06) = 107 \text{ mm}$

Bild 7.23: Mindestbetondeckung bei einem Übergreifungsstoß, Beispiel

Die Mindestbetondeckung ist zur Gewährleistung der Tragfähigkeit sowie aus Gründen des Korrosionsschutzes der Bewehrung einzuhalten. Fordern Stahlbetonnormen aufgrund aggressiver Umweltbedingungen größere Mindestbetondeckungen, sind die dort angegebenen Werte auch bei nachträglich eingemörtelten Bewehrungsstäben zu berücksichtigen.

Wie bei üblichen Injektionsdübelanwendungen hängt auch bei eingemörtelten Bewehrungsstäben die Verbundfestigkeit zwischen dem erhärteten Injektionsmörtel und der Bohrlochwand entscheidend von der ordnungsgemäßen und fachgerechten Bohrlochreinigung ab. Das Bohrloch wird nach Erstellung durch Hammer- oder Pressluftbohren in der Regel nach Montageanleitung des jeweiligen Produkts mit einer definierten Häufigkeit ausgeblasen, gebürstet und nochmals ausgeblasen. Beim System WIT-PE 500 entfällt der Bürstvorgang. Dies hat große Montagezeitvorteile. Das Bohrloch wird hier mit ölfreier Druckluft ($> 6 \text{ bar}$) und einer speziellen Druckluftreinigungsdüse, die an einem zum System gehörigen Druckluftschlauch befestigt ist, ausgeblasen. Dieser Ausblasvorgang ist vom tiefsten Punkt des Bohrlochs aus mit 4 Wiederholungen durchzuführen.

Zur Erzielung der gewünschten Verbundfestigkeit des Injektionsmörtels muss dieser den Bewehrungsstab blasenfrei über die gesamte Verankerungslänge umschließen. Dies erfordert eine spezielle Montagetechnik (Bild 7.24). Zunächst wird eine auf die Bohrlochtiefe abgestimmte Verlängerung (Bild 7.24 (2)), an der ein auf den Bohrl Lochdurchmesser abgestimmter sogenannter Stauzapfen (Bild 7.24 (1)) befestigt ist, auf die Spitze der Mischwendel (Bild 7.24 (3)) aufgesetzt. Danach wird außerhalb des Bohrlochs Mörtel ausgepresst, bis er nach dem in der Montageanleitung vorgegebenen Kriterium gleichmäßig durchmischt ist. Anschließend wird der Stauzapfen im Bohrgrund aufgesetzt und mit dem Auspressvorgang begonnen. Der Verfüllwiderstand drückt den Stauzapfen kontinuierlich in Richtung der Betonoberfläche. Der vom Monteur spürbare geringe Gegendruck unterstützt das blasenfreie Verfüllen. Die erforderliche Verfüllmenge ist in der Montageanleitung angegeben. In der Regel ist das Bohrloch zu etwa zwei Dritteln zu füllen. Die exakte Verfüllmenge kann der Montageanleitung entnommen werden. Durch eine entsprechende Markierung, die am Verfüllrohr angebracht wird, kann diese Verfüllmenge genau eingehalten werden.



(1) Stauzapfen, (2) Verlängerungsrohr, (3) Mischer

Bild 7.24: Injizieren des Mörtels mit Rebar-Systemkomponenten

Der Bewehrungsstab darf vor dem Einbringen in das injizierte Bohrloch nicht der freien Bewitterung wie z. B. Sonneneinstrahlung oder Niederschlägen ausgesetzt sein. Er darf auch keinen Verschmutzungen wie z. B. Ölen, Sand oder losem Rost ausgesetzt sein.

Möglichst unmittelbar nach der Injektion des Mörtels wird der Bewehrungsstab mit leichtem Druck und gleichzeitiger Drehbewegung bis zu einer vorher auf dem Bewehrungsstab angebrachten Setztiefenmarkierung in das gefüllte Bohrloch eingesetzt. Die Montage ist ordnungsgemäß, wenn der Bewehrungsstab ausreichend tief verankert ist und Überschussmörtel am Bohrlochmund austritt.

Das Injizieren in das Bohrloch und das Einbringen des Bewehrungsstabs muss innerhalb der zulässigen Verarbeitungszeit, die wie bei üblichen Injektionssystemen stark von der Temperatur des Ankergrunds abhängt, abgeschlossen sein. Ansonsten besteht die Gefahr, dass der Mörtel auszuhärten beginnt und die erforderliche Verankerungstiefe nicht erreicht wird. Daher ist gerade bei warmem Wetter eine sehr gute Arbeitsvorbereitung erforderlich, um einen zügigen Montageablauf zu gewährleisten.

7.4.3 Tragverhalten

Einbetonierte und eingemörtelte Bewehrungsstäbe unterscheiden sich hinsichtlich ihres Lasteinleitungsmechanismus in den Verankerungsgrund. Bild 7.25 a zeigt, dass bei einbetonierten Bewehrungsstäben die zu verankernde Last durch direkte Verzahnung zwischen den Rippen des Bewehrungsstabs und dem umgebenden Beton in den Ankergrund eingetragen wird. Bei eingemörtelten Bewehrungsstäben hingegen erfolgt die Lastübertragung über die Verzahnung der Rippen mit dem Injektionsmörtel und die Verbundfuge zwischen Injektionsmörtel und Bohrlochwandung (Bild 7.25 b). Der Injektionsmörtel ist so entwickelt, dass sich der eingemörtelte Bewehrungsstab bei Versagen der Verzahnung von Rippe und Injektionsmörtel vergleichbar einem einbetonierten Bewehrungsstab verhält. Tritt das Versagen in der Verbundfuge zwischen Bohrlochwandung und Injektionsmörtel auf, ist i. d. R. von einem unterschiedlichen Verhalten von einbetonierten und eingemörtelten Bewehrungsstäben auszugehen.

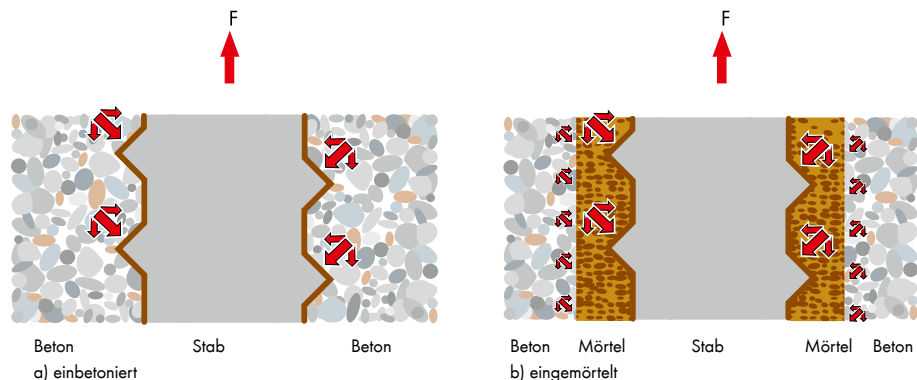


Bild 7.25: Lasteinleitungsmechanismen von Bewehrungsstäben

Bewehrungsstäbe können in Bauteile eingemörtelt werden, die keine Anschlussbewehrung enthalten (Bild 7.26 a), oder man kann sie durch einen Übergreifungsstoß an eine im Bauteil vorhandene Bewehrung anschließen (Bild 7.26 b). Im ersten Fall muss die eingeleitete Last vom umgebenden Beton aufgenommen und weitergeleitet werden. Dabei wird wie bei Befestigungen mit Verbunddübeln die Zugfestigkeit des umgebenden Betonvolumens genutzt. Bei ausreichend hoher Stahlfestigkeit tritt Versagen durch Verbundbruch zwischen Mörtel und Bewehrungsstab bzw. Mörtel und Beton, durch Spalten des Betons oder durch Betonausbruch auf. Betonausbruch wird insbesondere bei engem Abstand der eingemörtelten Bewehrungsstäbe beobachtet. Im zweiten Fall wird die eingeleitete Zugkraft über Druckstreben auf die vorhandene einbetonierte Anschlussbewehrung übertragen, wobei Ringzugspannungen im Beton entstehen. Der Übergreifungsstoß versagt bei ausreichender Festigkeit des Betonstahls durch Spalten der Betondeckung bzw. Verbundbruch des eingemörtelten oder einbetonierten Bewehrungsstabs. Die Zugfestigkeit des Betons wird lokal genutzt. Die auftretenden Querkraftkräfte werden durch eine zweckmäßig angeordnete Querbewehrung aufgenommen.

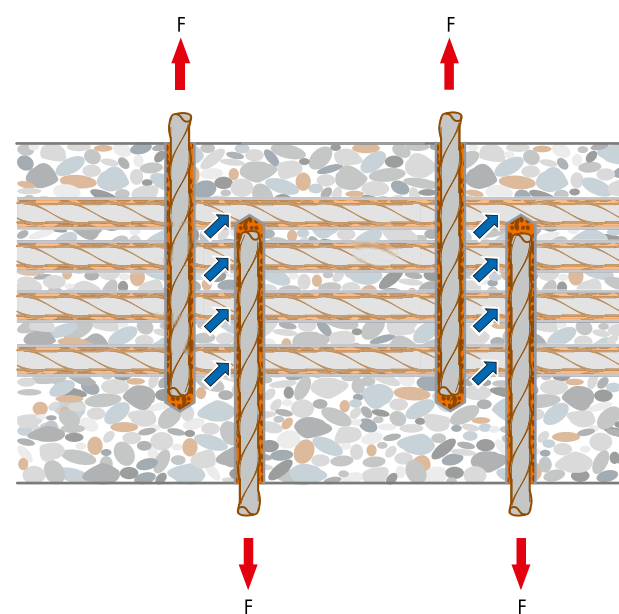
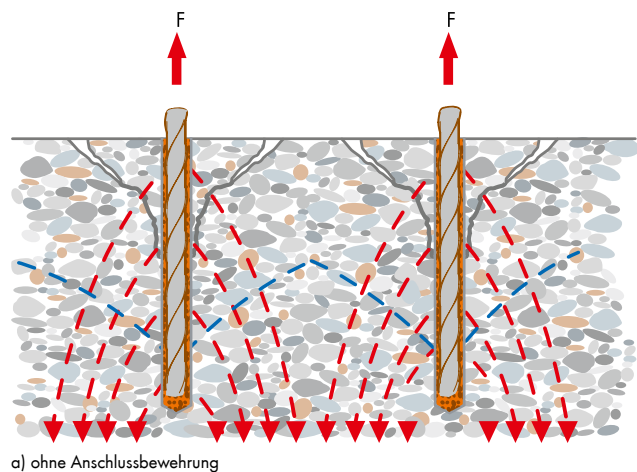


Bild 7.26: Lastweiterleitung eingemörtelter Stäbe [48]

Bild 7.26: Lastweiterleitung eingemörtelter Stäbe [48]

7.4.4 Voraussetzungen für die Verwendung

Eingemörtelte Bewehrungsstäbe stellen bauaufsichtlich relevante Anwendungen dar. Ihre Verwendung ist daher durch Zulassungen (ETA und in Deutschland zusätzlich erforderliche abZ) geregelt. Der dort beschriebene Anwendungsbereich ist für die Verwendung maßgebend.

- Für nachträglich hergestellte Anschlüsse ist der im Zulassungsbescheid spezifizierte Betonstabstahl zu verwenden.
- Als Ankergrund dient Beton C12/15 bis C50/60 nach DIN EN 206-1 bzw. Beton B15 bis B55 nach DIN 1045.
- Da Bohrlöcher nur gerade hergestellt werden können, dürfen nur Bewehrungsanschlüsse ausgeführt werden, die auch mit einbetonierten geraden Betonstählen möglich sind.

Die erlaubten Anwendungsfälle sind in der Zulassung angegeben. Dies sind z. B. (Bilder 7.27 bis 7.29):

- Übergreifungsstöße mit vorhandener Bewehrung in einem Bauteil
- Endverankerung der Bewehrung einer Platte oder eines Balkenauflegers; Endauflager einer Einfeldplatte und der Bewehrung für Zwängungskräfte
- Verankerung der Bewehrung von überwiegend druckbeanspruchten Bauteilen
- Verankerung der Bewehrung zur Abdeckung einer Zugkraftdeckungsline einer einwirkenden Zugkraft

Grundsätzlich gilt, dass die Anschlüsse mit eingemörtelten Bewehrungsstäben ingenieurmäßig zu planen und prüfbare Berechnungen und Konstruktionszeichnungen anzufertigen sind. Die tatsächliche Lage der Bewehrung im vorhandenen Bauteil ist auf der Grundlage der vorhandenen Baudokumentation festzustellen und beim Entwurf zu berücksichtigen.

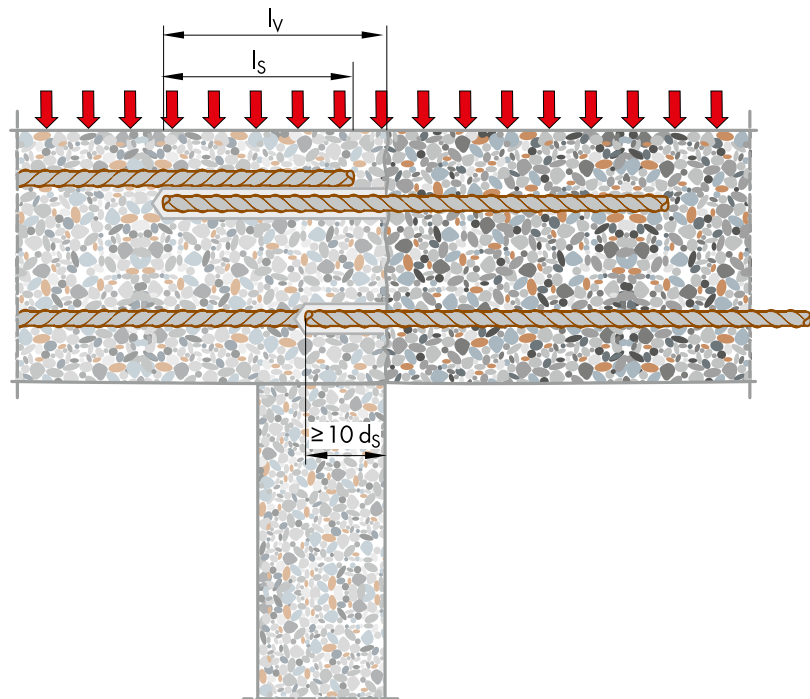


Bild 7.27: Übergreifungsstoß für Bewehrungsanschlüsse von Platten und Balken; Beispiel [56]

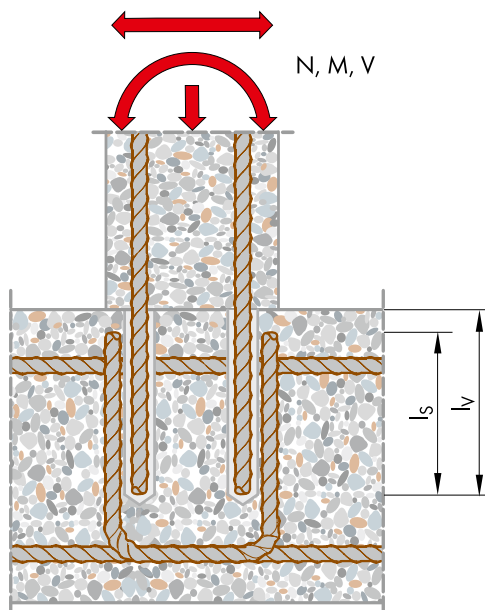


Bild 7.28: Übergreifungsstoß einer biegebeanspruchten Stütze oder Wand mit einem Fundament, Beispiel [56]

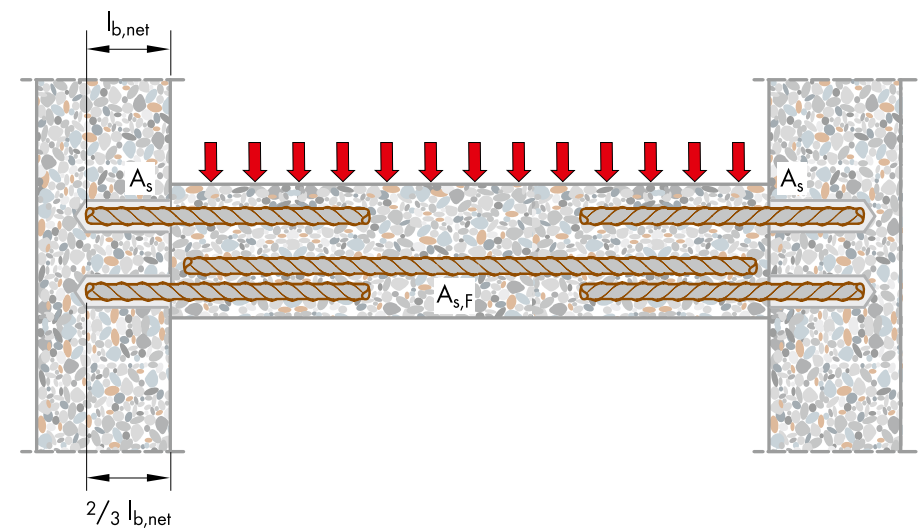


Bild 7.29: Endverankerung von Platten oder Balken, Beispiel [56]

Die Zulassungen für nachträglich eingemörtelte Bewehrungsstäbe setzen wegen der großen Verankerungstiefen eine hohe Ausführungsqualität voraus. Diese kann von Monteuren nicht erwartet werden, die nicht für die Ausführung von Anschlüssen mit eingemörtelten Bewehrungsstäben geschult sind. Daher dürfen nach den Beschlüssen des zuständigen Sachverständigenausschusses des Deutschen Instituts für Bautechnik Anschlüsse mit eingemörtelten Bewehrungsstäben in Deutschland nur durch geschulte Monteure erstellt werden. Der Anschluss muss von einem sachkundigen Planer geplant werden. Die ausführende Firma muss über eine qualifizierte Führungskraft, geschultes Baustellenfachpersonal und die notwendigen Geräte verfügen. Für jeden Anschluss ist ein Ausführungsprotokoll zu erstellen. Die qualifizierte Führungskraft muss über ausreichende Kenntnisse und Erfahrungen in der Ausführung von eingemörtelten Bewehrungsanschlüssen verfügen. Sie ist verantwortlich für die Arbeiten auf der Baustelle, die Prüfung der Leistungsbeschreibungen, die Planung der Arbeiten und die Beurteilung der Qualifikation des Personals. Weiterhin leitet sie oder ein fachkundiger Vertreter (z. B. Bauleiter) die Arbeiten auf der Baustelle. Das Baustellenfachpersonal muss durch den Hersteller des Injektionsmörtelsystems für eingemörtelte Bewehrungsstäbe geschult und durch ein unabhängiges Institut zertifiziert sein. Es führt die Arbeiten durch und füllt das Protokoll über die Vermörtelungsarbeiten aus. Das Baustellenfachpersonal hat zudem eventuell hinzugezogene Hilfskräfte (z. B. für das Vorbereiten der Bewehrungsstäbe) zu beaufsichtigen.

7.4.5 Bemessung

Eingemörtelte Bewehrungsstäbe können

- nach der Dübeltheorie, d. h. als Verbunddübel nach Kapitel 10 dieses Handbuchs, oder
- nach den Regeln der DIN EN 1992-1 für den Stahlbetonbau wie einbetonierte Bewehrungsstäbe bemessen werden.

Die Bemessung nach der Dübeltheorie gestattet, dass ein Bewehrungsstab unter allen Beanspruchungsrichtungen belastet werden kann. Gleichzeitig beschränkt sich der Gültigkeitsbereich auf Verankerungslängen $h_{ef} \leq 20d$ und die vorgegebenen Mindestwerte für Achs- und Randabstände sowie die Bauteildicke sind einzuhalten. Weiterhin sind die zum Nachweis der Bauteiltragfähigkeit erforderlichen Zwischenabstände zu berücksichtigen.

Daraus ergeben sich minimale Rand- und Achsabstände, die i. d. R. deutlich größer sind als die Betondeckung und Stababstände bei der Bewehrung im Stahlbetonbau.

Bei der Bemessung eines eingemörtelten Stabs nach den Regeln des Stahlbetonbaus wird von einer axialen Zugbeanspruchung des Bewehrungsstabs ausgegangen. Andere Beanspruchungsarten dürfen nicht überlagert sein. Die Bewehrungsstäbe müssen so verankert sein, dass ihre Kräfte in den Beton eingeleitet werden und eine Längsrisbildung und ein Abplatzen des Betons im Verankerungsbereich ausgeschlossen sind. Bei der Bemessung von eingemörtelten Bewehrungsstäben ist zu berücksichtigen, dass i. d. R. keine Querbewehrung vorhanden ist. Durch die Bemessung der Verankerung des Übergreifungsstoßes nach Stahlbetonnorm ist die örtliche Kräfteinleitung in den Beton erbracht. Die Weiterleitung der zu verankernden Lasten im Bauteil ist nachzuweisen. In Kapitel 10.8 wird die Bemessung eingemörtelter Bewehrungsstäbe auf der Grundlage von DIN EN 1992-1-1 beschrieben.

7.5 Befestigungen im Kernkraftwerksbau

7.5.1 Allgemeines

Dübelbefestigungen in Kernkraftwerken können sich aufgrund konstruktiver Randbedingungen von Befestigungen im üblichen Hochbau deutlich unterscheiden. Dies hat mehrere Ursachen:

- Es können durch bereits vorhandene Innenausbauten erschwerte Montagebedingungen vorliegen.
- Der Bewehrungsgrad der Betonkonstruktion ist im Regelfall relativ hoch. Es ist davon auszugehen, dass Betonstähle mit großem Durchmesser mehrlagig im Beton der sicherheitsrelevanten Bereiche von Kernkraftwerken vorzufinden sind. Auch in Flächentragwerken, wie Platten und Scheiben, kann Bügelbewehrung vorhanden sein.
- Die einwirkenden Kräfte und sonstigen Beanspruchungen erfordern im Allgemeinen Befestigungsmittel mit hoher Tragfähigkeit und robustem Charakter.
- Die anzunehmenden Einwirkungen können dynamische Anteile beinhalten. Dies erfordert besondere Befestigungsmittel und besondere fachliche Kenntnisse des Tragwerksplaners.
- Die Anbauteile – normalerweise Stahlplatten – können so große Abmessungen haben, dass sie vor der endgültigen Befestigung mit den planmäßig vorgesehenen Dübeln hilfsweise befestigt werden müssen und dass zur Montage Hebewerkzeuge verwendet werden müssen. Der Montageprozess ist aufwendig. Teilweise müssen die Dübelplatten zunächst wieder demontiert werden, damit z. B. weitere tragende Elemente daran befestigt werden können.

Bis 1998 musste die Anwendung von Dübelbefestigungen in sicherheitsrelevanten Bereichen von Kernkraftwerken durch Zustimmungen im Einzelfall geregelt werden. Um in der gesamten Bundesrepublik gleiche Anforderungen an derartige Dübelverbindungen zu stellen, hat das Deutsche Institut für Bautechnik 1998 einen Leitfaden zur Beurteilung von Dübelbefestigungen bei der Erteilung von Zustimmungen im Einzelfall gemäß den Landesbauordnungen der Bundesländer herausgegeben [21]. Auf der Basis dieses Leitfadens konnten auch allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen erteilt werden.

Nachdem der Leitfaden etwa 10 Jahre lang angewendet worden war, ergriffen einige Bundesländer und die Kernkraftwerksbetreiber die Initiative, die daraus gewonnenen Erfahrungen mit dem Leitfaden [21] aus dieser Zeit und die durch Begehungen in Kernkraftwerken gewonnenen Erkenntnisse über Dübelverbindungen in eine überarbeitete Version des Leitfadens einfließen zu lassen. Vertreter der Kraftwerksbetreiber, der Kraftwerksplaner, der Bundesländer, der Wissenschaft und des Deutschen Instituts für Bautechnik erarbeiteten gemeinsam diese Neufassung, die im Juni 2010 durch das Deutsche Institut für Bautechnik [20] veröffentlicht wurde. Darin werden auch die Regelungen der zwischenzeitlich bauaufsichtlich eingeführten DIN 25449 [24] berücksichtigt. Im Folgenden werden wesentliche Inhalte und die Neuerungen aus dem überarbeiteten Leitfaden [20] vorgestellt und erläutert.

Im Anwendungsbereich von [20] sind u. a. die folgenden Hinweise zu finden:

- Der Leitfaden enthält Festlegungen zur Bestimmung der Tragfähigkeit und Bemessung von sicherheitstechnisch wichtigen (relevanten) Dübelbefestigungen in Kernkraftwerken und anderen kerntechnischen Anlagen unter vorwiegend ruhenden Einwirkungen. Ermüdungsrelevante (dynamische) Einwirkungen sind gesondert zu beurteilen.
- Sicherheitstechnisch wichtige Dübelbefestigungen sind solche, die der Befestigung sicherheitstechnisch wichtiger Bau- (z. B. Bühnen) und Anlagenteile (z. B. elektro- und maschinentechnischer Komponenten) dienen.
- Zu den sicherheitstechnisch wichtigen Dübelbefestigungen zählen auch jene, an denen sicherheitstechnisch nicht wichtige Bau- und Anlagenteile befestigt sind, deren Versagen aber sicherheitstechnisch wichtige Bau- und Anlagenteile unzulässig beeinträchtigen können.
- Sicherheitstechnisch wichtige Bau- und Anlagenteile von Kernkraftwerken sind solche, die zur Erreichung der Schutzziele (Kontrolle der Reaktivität, Kühlung der Brennelemente und Einschluss der radioaktiven Stoffe) sowie im Rahmen der Störfallbeherrschung zur Begrenzung der Strahlenexposition erforderlich sind. Diese Definition gilt sinngemäß auch für andere kerntechnische Anlagen. Maßgebend ist die jeweilige anlagenspezifische Definition.
- In diesem Leitfaden werden ergänzende Kriterien für diejenigen sicherheitstechnisch wichtigen Dübelbefestigungen genannt, die über die Anforderungen des allgemeinen Hochbaus gemäß ETAG 001 [52] hinaus zur Erfüllung des sicherheitstechnisch erforderlichen Lastabtrags bei außergewöhnlichen Bemessungssituationen und Bemessungssituationen mit in der Kerntechnik anzusetzenden Bemessungsersdbeben betrachtet werden müssen [20].

Sicherheitstechnisch wichtige Dübelbefestigungen sind gemäß [20] für den Grenzzustand der Tragfähigkeit und ggf. für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit nachzuweisen. Dem Nachweis des Grenzzustands der Gebrauchstauglichkeit – hier sind im Wesentlichen die Verformungen gemeint – kann eine besondere Bedeutung zukommen, da die Regelwerke an kerntechnische Anlagen KTA [8] strenge Anforderungen stellen. Sie können bemessungsentscheidend sein. So wird in Abschnitt 2.4 von [20] darauf hingewiesen, dass dann von einer starren Verankerung ausgegangen werden kann, wenn die Verformungen in alle Richtungen am Einzeldübel ≤ 3 mm sind. Die Bestimmung der Steifigkeit des Dübels erfolgt unter den besonderen Bedingungen einer niederzyklischen Belastung bei großen Rissbreiten.

7.5.2 Anforderungskategorien

In [20], [21] und [24] werden drei Anforderungskategorien unterschieden, deren Einwirkungen als vorwiegend ruhend betrachtet werden können.

7.5.2.1 Anforderungskategorie A1

Das sind Kombinationen von Einwirkungen, die im Sinne von DIN 1055-100 zu den ständigen und vorübergehenden Bemessungssituationen gehören [20].

Hier können Dübel mit einer ETA gemäß ETAG 001 [52] eingesetzt werden, wenn die Mindestverankerungstiefe 80 mm beträgt – bei nur sehr kleinen Lasten ($R_k \leq 0,4$ kN) reichen auch 40 mm Verankerungstiefe – und wenn eine ausreichende Montagekontrolle vorliegt. Zusätzlich sind gegebenenfalls Anforderungen zum Korrosionsschutz, zum Brandschutz, zum Strahlenschutz und zur Qualitätssicherung zu beachten.

7.5.2.2 Anforderungskategorie A2

Dies betrifft Kombinationen mit außergewöhnlichen Einwirkungen in Anlehnung an DIN 1055-100, deren mehrfaches Auftreten während der Nutzungsdauer zu unterstellen ist. Bei diesen Kombinationen ist sicherzustellen, dass nach ihrem Auftreten die weitere Nutzungsfähigkeit des zu bemessenden Bauteils gegeben ist [20].

Außerdem dürfen hier nur Dübelssysteme mit hoher Montagesicherheit gemäß ETAG 001 [52] verwendet werden, nachgewiesen durch einen Montagesicherheitsbeiwert $\gamma_2 = 1,0$ gemäß einer ETA. Diese Forderung sollte nach Meinung des Autors auf sämtliche Dübelbefestigungen in Kernkraftwerken und kerntechnischen Anlagen übertragen werden.

Dübel, die in Kernkraftwerken unter die Anforderungskategorie A2 fallen, müssen die Anforderungen des allgemeinen Hochbaus, die durch die Kriterien der europäischen technischen Zulassungen gemäß ETAG 001 konkretisiert sind, erfüllen. Außerdem müssen sie die zusätzlichen Anforderungen der Kategorie A1 (Mindestverankerungstiefe, Korrosionsschutz, Brandschutz, Strahlenschutz und Montagekontrolle) erfüllen.

7.5.2.3 Anforderungskategorie A3

Darunter fallen Kombinationen von außergewöhnlichen Einwirkungen geringer Eintrittswahrscheinlichkeit ($\leq 10^{-4}$ pro Jahr), deren einmaliges Auftreten während der Nutzungsdauer zu unterstellen ist. Große Rissbildungen und bleibende Verformungen sind zugelassen, sofern sicherheitstechnische Belange dem nicht entgegenstehen. Hierzu zählen folgende Einwirkungen:

Einwirkungen von innen (EVI)

- Differenzdruck
- Temperatur
- Strahl- und Reaktionskräfte
- Anpralllast

Einwirkungen von außen (EVA)

- Hochwasser
- Bemessungserdbeben
- Flugzeugabsturz
- Explosionsdruckwelle

Dübel, die in Kernkraftwerken unter die Anforderungskategorie A3 fallen, müssen ebenfalls die Anforderungen des allgemeinen Hochbaus, die durch die Kriterien der europäischen technischen Zulassungen gemäß ETAG 001 konkretisiert sind, erfüllen. Ergänzend sind die Vorgaben der Kapitel 2.5 bis 2.9 und des Kapitels 5 des Leitfadens [20] zu berücksichtigen. Außerdem sind die Verschiebungen an Dübelbefestigungen gemäß Kapitel 2.4 des Leitfadens zu begrenzen. Die Bemessung der Dübelbefestigungen soll nach Abschnitt 4 des Leitfadens erfolgen.

Ergeben sich für Dübelbefestigungen der Anforderungskategorie A3 aus den Einwirkungen von außen oder von innen Zustände der Stahlbetonstrukturen, bei denen die Entstehung von breiteren Rissen in diesen Strukturen nicht ausgeschlossen werden kann, dann müssen die zum Lastabtrag erforderlichen Dübelbefestigungen zusätzlich die Anforderungen des Kapitels 2.3 und 2.4 und des Kapitels 3 des Leitfadens erfüllen. Diese zusätzlichen Anforderungen gelten im Regelfall nur für Einwirkungen von außen, nämlich Erdbeben, Flugzeugabsturz und Explosionsdruckwelle [20].

Die zusätzlichen Prüfungen bestehen aus niederzyklischen Tests in besonders breiten Rissen (bis 1,5 mm Breite). In diesem Anwendungsbereich der Anforderungskategorie A3 werden heute ausschließlich Dübel eingesetzt, die entsprechend der oben genannten Forderungen geprüft wurden und dafür allgemein bauaufsichtlich zugelassen sind.

Zusätzlich findet man in [20] auch einen Hinweis, bei welcher Anzahl von Schwingspielen von einer vorwiegend ruhenden Einwirkung auszugehen ist. Diese Grenze liegt bei 10.000 Zyklen bei Zugbeanspruchung und 100 Zyklen bei Querbeanspruchung. Werden diese Zyklenzahlen überschritten, ist zumindest eine zusätzliche Beurteilung der Dübelbefestigung erforderlich.

7.5.3 Empfehlungen zur Montage, die auch vom Tragwerksplaner zu beachten sind

Wenn man davon ausgeht, dass für den Bau und die Montage der Anlagen- und Systemtechnik in einem Kernkraftwerk speziell ausgebildete Fachkräfte eingesetzt werden, ist es nur folgerichtig, wenn diese Anforderung auch auf die Montage der Dübel übertragen wird. Dübel, die den hohen Anforderungen beim Betrieb von Kernkraftwerken genügen, sind zum Teil „Hightech“-Produkte und sollten ausschließlich von Monteuren

eingebaut werden, die eine entsprechende Schulung absolviert haben (siehe beispielsweise Kapitel 14, Zertifizierter Befestigungstechniker).

Zuerst wird die Montage, wie sie in einem aufwendigen Fall erforderlich ist, beschrieben. Dabei wird davon ausgegangen, dass die Dübelbefestigung im Bestand erfolgt bzw. dass auch andere Gewerke mit Dübelbefestigungen tätig sein können. Hier muss der Tragwerksplaner zunächst die Situation vor Ort erfassen. Dazu gehören u. a. die folgenden wesentlichen Merkmale:

- Gibt es in der Nähe der Befestigung bereits vorhandene Befestigungen, wie Dübel, Ankerschienen oder Kopfbolzen?

Liegen die benachbarten Befestigungen so nah beieinander, dass die vorhandenen Dübel die Betontragfähigkeit der neu zu setzenden Dübel beeinflussen können, kann eine Bemessung der neuen Gruppe so erfolgen, dass man einen fiktiven Betonrand gemäß Bild 7.34 berücksichtigt. Dazu geht man davon aus, dass die vorhandene Befestigung zu 100 % ausgelastet ist, und in einem Abstand von $1,5 h_{ef}$ wird für die neu zu planende Gruppenbefestigung ein fiktiver Bauteilrand angenommen.

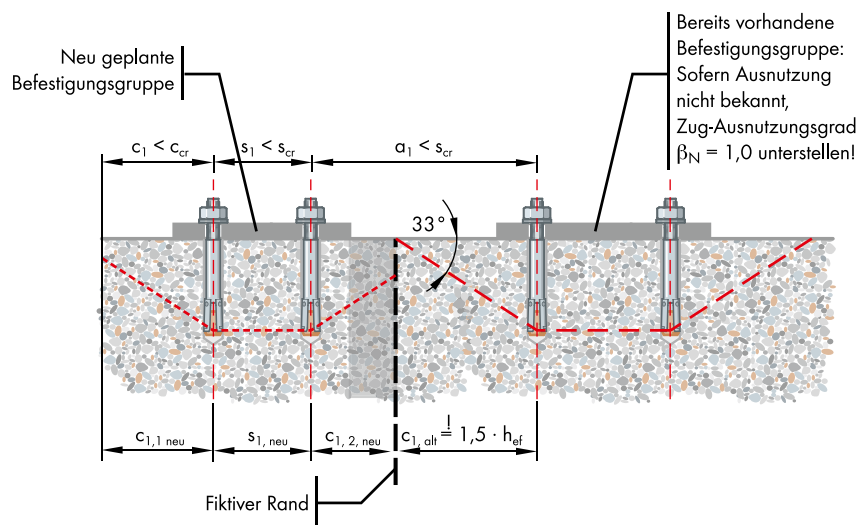


Bild 7.30: Fiktiver Betonrand für eine neu zu setzende Dübelgruppe

- Welcher Festigkeitsklasse entspricht der Beton?
- Muss die Montage detailliert geplant werden?

Die vorhandene lokale Bewehrung ist durch geeignete und zuverlässige Geräte zu bestimmen, um einen Toleranzbereich für die mögliche Position der Dübel festlegen zu können. Bereits jetzt muss eine Planung vorliegen, die die Größe der Ankerplatte und die erforderliche Anzahl von Dübeln enthält. Aufgrund der Erfassung der Situation vor Ort kann eine Neuplanung erforderlich werden. In diesem Zusammenhang sollte auch die Frage geklärt werden, ob die vorhandene Bewehrung gegebenenfalls durchtrennt werden kann. In den Betonbauteilen von Kernkraftwerken liegt teilweise ein sehr hoher Bewehrungsgrad vor, sodass es schwierig sein kann, eine geeignete lokale Position für die geplante Dübelbefestigung zu finden.

- Liegen korrosive Bedingungen vor bzw. können gegebenenfalls durch Leckagen korrosive Bedingungen unplanmäßig entstehen?
Hier ist zu entscheiden, ob Dübel aus Edelstahl oder hochkorrosionsbeständigem Edelstahl verwendet werden müssen.
- Welcher Dübel soll hier montiert werden?

- Soll die Befestigung in Vorsteck- oder Durchsteckmontage erfolgen?
- Kann der geplante Dübel überhaupt montiert werden?
- Gibt es ausreichend Platz, um die Bohrmaschine zulassungsgemäß zu verwenden, oder sind zuvor Einbauten zu entfernen?

Darüber hinaus sind die folgenden Regeln für die Montage von Dübeln im Bereich von Kernkraftwerken zu beachten:

- Der Beton im Bereich des anzuschließenden Bauteils soll eben sein, damit das Anbauteil nach der Dübelmontage im Bereich der Dübelverbindung ganzflächig auf dem Beton anliegt. Bei unebener Betonoberfläche darf zur Erzielung einer ebenen Oberfläche eine Mörtelausgleichsschicht verwendet werden. Alternativ kann auch die Betonoberfläche mechanisch geglättet werden.
- Bei großen Dübelplatten wird oft zuerst nur die Dübelplatte ohne angeschlossene Elemente mit Dübeln befestigt. Anschließend wird sie abgenommen, um die Anschlusskonstruktion anzuschweißen. Durch das Anschweißen kann sich die Dübelplatte verformen, sodass die erforderliche Ebenheit nicht mehr eingehalten wird. Hier muss ein Verguss mit einem geeigneten Mörtel vorgesehen werden.
- Dübel, die nicht ordnungsgemäß gesetzt wurden, sind – soweit möglich – auszubauen oder für eine erneute Nutzung unbrauchbar zu machen.
- Fehlbohrungen mit einer Tiefe $t > h_{ef} / 4$ sind mit einem hochfesten, schwindarmen Mörtel vollständig zu verschließen. Eine Fehlbohrung liegt auch dann vor, wenn ein nicht ordnungsgemäß gesetzter Dübel ausgebaut wird. Ein neuer Dübel darf mit einem Abstand gleich dem 3-fachen Bohrlochdurchmesser von einer Fehlbohrung entfernt gesetzt werden. Eine Vorspannung bzw. Belastung dieses Dübels nach dem Schließen der Fehlbohrung mit hochfestem Mörtel ist frühestens dann zulässig, wenn die Festigkeitsentwicklung des Mörtels mindestens der Betonfestigkeit entspricht. Ist die Festigkeitsentwicklung des Mörtels nicht bekannt, darf der Dübel frühestens nach 24 Stunden vorgespannt bzw. belastet werden.
- Da sich Schrauben oder Muttern von Dübeln durch dynamische Einwirkungen lösen können, müssen sie gegen diese Möglichkeit gesichert werden.

Wie kann nun die Montage im Detail vorgenommen werden? Ist eine Vorsteckmontage vorgesehen, so ist die spätere Übereinstimmung der Dübelpositionen und der Bohrlöcher im Anbauteil präzise zu planen. Dabei dürfen die Toleranzen in einem Bereich von 2 mm bis maximal 3 mm liegen. Außerdem ist zu beachten, dass die Bohrungen möglichst senkrecht zur Betonoberfläche erfolgen, damit das Anbauteil bei der Montage ohne Zwängungen über die herausstehenden Anschlussgewinde der Dübel geführt werden kann.

Bei der Durchsteckmontage können geringe Winkelabweichungen ($< 5^\circ$) von der Senkrechten zur Oberfläche weniger negative Auswirkungen haben als bei der Vorsteckmontage. Außerdem kann die Bohrung im Anbauteil dazu dienen, den Bohrer zu führen.

Außerdem ist darauf zu achten, dass die von den Kraftwerksbetreibern angebotenen Montageprotokolle verwendet werden. Diese sind teilweise mit der Aufsichtsbehörde abgestimmt.

Treten bei der Montage von Dübeln unvorhergesehene Probleme auf, so ist umgehend der Tragwerksplaner hinzuzuziehen. Monteure dürfen in keinem Fall Entscheidungen fällen, die nicht in ihrem Aufgabenbereich liegen.

Neben den Montageprotokollen sollte im Vorfeld der Ausführung auch geklärt werden, welche Arbeiten von wem überwacht werden. Diese Maßnahme dient sowohl dem ausführenden Unternehmen als auch dem Auftraggeber.

Der Einsatz der Diamantbohrtechnik zur Erstellung eines Bohrlochs für einen Dübel entspricht im Regelfall nicht den durch die Zulassung vorgegebenen Bedingungen. Sollte der Einsatz der Diamantbohrtechnik trotzdem erfolgen, so ist eine Zustimmung im Einzelfall sowie eine detaillierte fachliche Beurteilung erforderlich. Neben der Frage, ob der Dübel auch in einem Bohrloch seine volle Tragfähigkeit hat, dass mittels der Kernbohrung erstellt wurde, geht es dabei auch um die Frage, ob die Bewehrung des Betons an diesen Stellen beschädigt werden darf.

8 Aspekte bei der Dübelauswahl

8.1 Allgemeines

Zur Befestigung von Bauteilen stehen zahlreiche Befestigungssysteme zur Auswahl. Für den Anwender gilt es aus dieser Vielzahl ein für seine Anwendung optimales Befestigungssystem auszuwählen.

In Abhängigkeit vom Verankerungsgrund und seiner Geometrie, der auftretenden Belastung, des Anwendungsbereichs sowie der Montageart werden für den jeweiligen Anwendungsfall optimierte Systeme angeboten. Die vorliegende Systemvielfalt bedingt aber, dass der Anwender sich mit den Anwendungsbedingungen und Funktionsprinzipien vertraut machen muss, Vor- und Nachteile der Systeme kennt und entsprechend handelt. Wesentliche zu berücksichtigende Aspekte bei der Dübelauswahl sind in Bild 8.1 zusammengestellt.

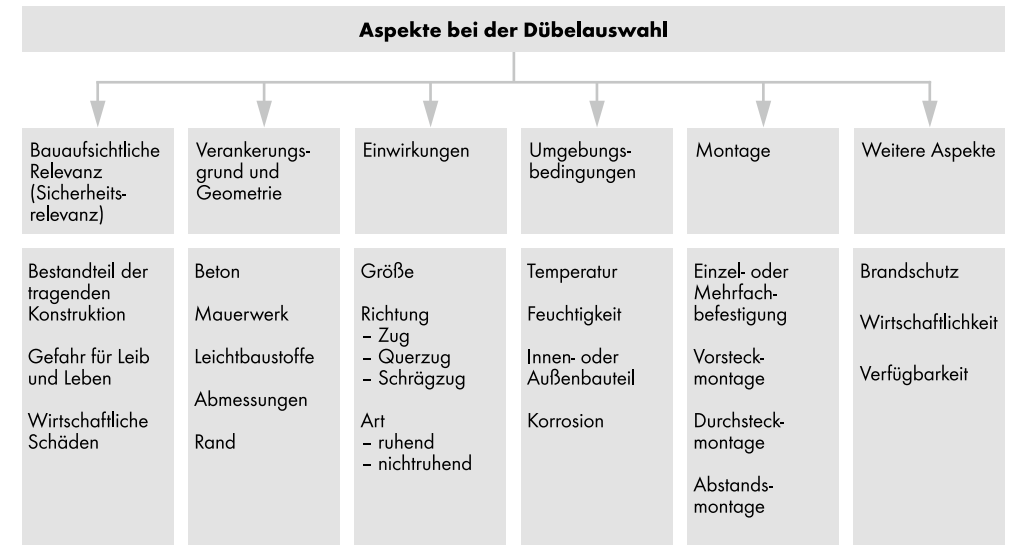


Bild 8.1: Aspekte bei der Dübelauswahl

8.2 Bauaufsichtliche Relevanz (Sicherheitsrelevanz)

Als bauaufsichtlich relevant (sicherheitsrelevant) gelten Befestigungen, bei deren Versagen eine Gefahr für Leib und Leben besteht oder ein wesentlicher wirtschaftlicher Schaden eintreten kann (Bild 8.2, [3]). Dies trifft generell dann zu, wenn Bauteile, die Teil der tragenden Konstruktion sind, befestigt werden. Sicherheitsrelevante Befestigungen erfordern eine ingenieurmäßige Planung und Bemessung sowie eine fachgerechte Montage. Für deutlich von einer Zulassung abweichende Anwendungsbedingungen ist gegebenenfalls eine Zustimmung im Einzelfall auf der Grundlage der Bewertung eines Sachverständigen erforderlich.

Untergeordnete Befestigungen oder eine bei einem Versagen der Befestigung mit geringer Wahrscheinlichkeit auftretende Gefährdung von Personen sind als nicht sicherheitsrelevant einzustufen [3]. Deren Ausführung erfolgt nach handwerklichen Regeln. Eine Bemessung ist nicht erforderlich.

Sicherheitsrelevante/bauaufsichtlich relevante Befestigung

Gefahr für Leib und Leben?
Wesentlicher wirtschaftlicher Schaden?
Auftrittswahrscheinlichkeit hoch?

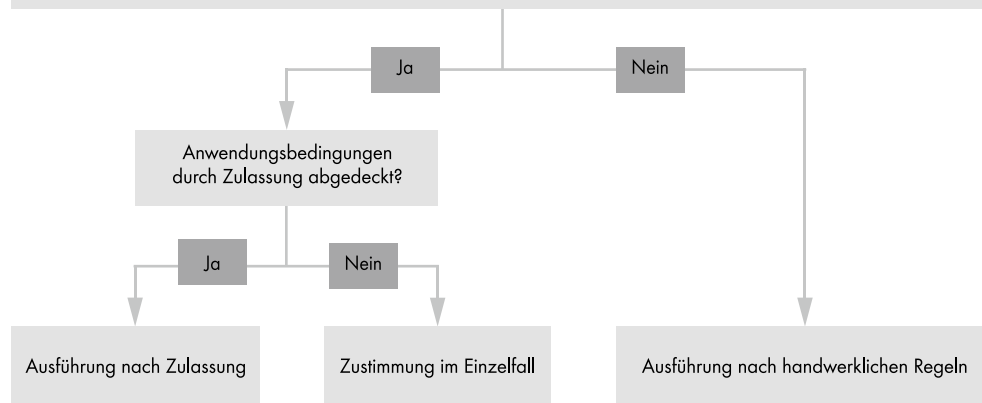


Bild 8.2: Regeln für die Ausführung einer Befestigung

8.3 Verankerungsgrund und Geometrie des Bauteils**8.3.1 Allgemeines**

Die Auswahl eines geeigneten Dübels wird wesentlich durch den Verankerungsgrund und dessen Tragfähigkeit bestimmt. Während Befestigungen in Normalbeton mit Metaldübeln, Verbundankern und Kunststoffdübeln ausgeführt werden können, sind in Mauerwerk Kunststoffdübel und Injektionsdübel einzusetzen (Tabelle 8.1). Eine allgemeine Übersicht von in verschiedenen Ankergründen zugelassenen bzw. empfohlenen Dübelssystemen zeigt Tabelle 8.1. Detaillierte Angaben zu geeigneten Dübelssystemen enthält Kapitel 5.

Verankerungsgrund			Dübelart				
			Metallspreiz- und Hinterschnittdübel	Verbunddübel- Patronensystem	Verbunddübel- Injektions- system (mit Siebhülse)	Verbunddübel- Injektions- system (ohne Siebhülse)	Kunststoffdübel
Normalbeton			■	■		■	■
Mauerwerk	Ziegel	Vollstein			■ ¹⁾	■	■
		Lochstein			■		■
	Kalksandstein	Vollstein			■ ¹⁾	■	■
		Lochstein			■		■
	Leichtbeton	Vollstein				□	■
		Hohlblockstein			■		■
	Normalbeton	Hohlblockstein					■
Porenbeton			■		■	■	■

■ Zugelassene Systeme vorhanden; □ vom Hersteller empfohlen; 1) empfohlen wegen Griffloch

Tabelle 8.1: Zugelassene und empfohlene Dübelssysteme in Abhängigkeit vom Verankerungsgrund Beton und Mauerwerk

8.3.2 Verankerungsgrund Beton

Für die Dübelauswahl in Beton sind das vorliegende statische System (statisch bestimmt oder unbestimmt), der Zustand des Betons (gerissen oder ungerissen) sowie die Funktion des anzuschließenden Bauteils (tragend, nichttragend) entscheidend.

Ein statisch bestimmtes System liegt vor, wenn bei linienförmigen bzw. flächigen Bauteilen weniger als drei bzw. vier Befestigungspunkte vorhanden sind (Bild 8.3). Ein Befestigungspunkt kann dabei aus einem oder mehreren Dübeln (Gruppe) bestehen. Bei statisch bestimmten Systemen kann das Versagen eines Dübels zum Versagen der gesamten Befestigung führen. Demzufolge sind bei solchen Befestigungen Dübel einzusetzen, die auch als Einzelbefestigungen zuverlässig Traglasten in den Verankerungsgrund übertragen. Liegt ein statisch unbestimmtes System vor und ist das anzuschließende Bauteil nicht Teil der tragenden Konstruktion, können sogenannte redundante Befestigungen eingesetzt werden. Dies sind Mehrfachbefestigungen, bei denen im Falle des Versagens eines Dübels die angreifende Last auf einen benachbarten Befestigungspunkt umgelagert werden kann. Allerdings ist diese Art der Befestigungen nur bei geringen übertragbaren Lasten zulässig (z. B. Unterdecke).

Ein anzuschließendes Bauteil ist dann als Teil der tragenden Konstruktion einzustufen, wenn bei dessen Versagen das gesamte oder Teile des Bauwerks einstürzen. Dies trifft beispielsweise auf Stützen eines Bauwerks zu, während Rohrleitungen i. A. keine tragende Funktion haben.

Die Vorgehensweise bei der Dübelauswahl ist schematisch in Bild 8.4 dargestellt.

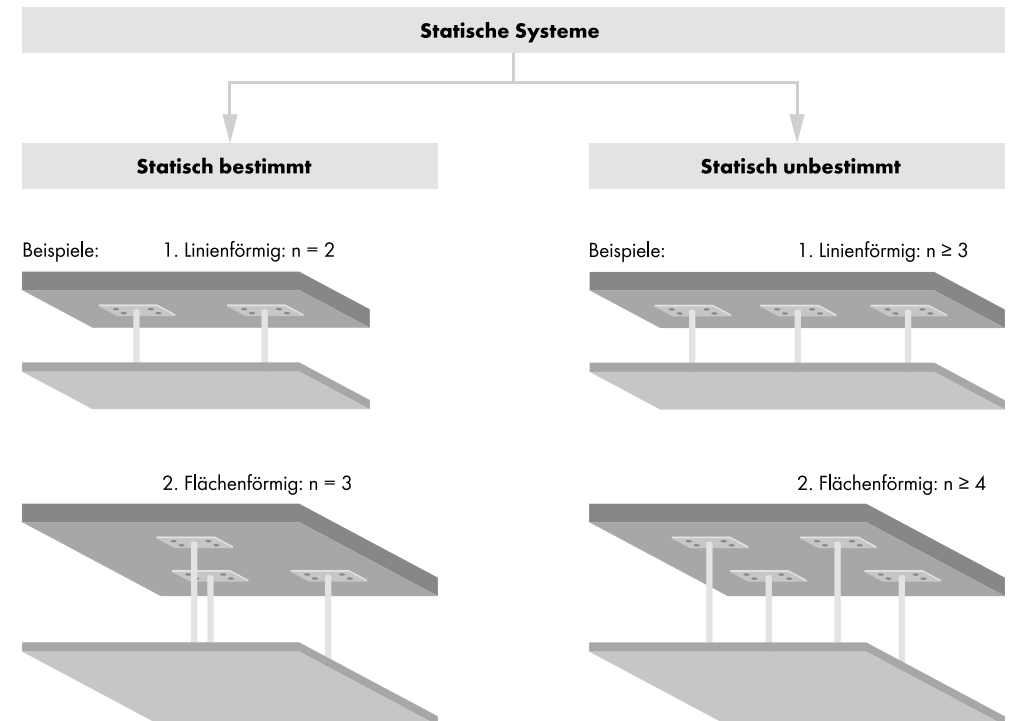


Bild 8.3: Definition statischer Systeme

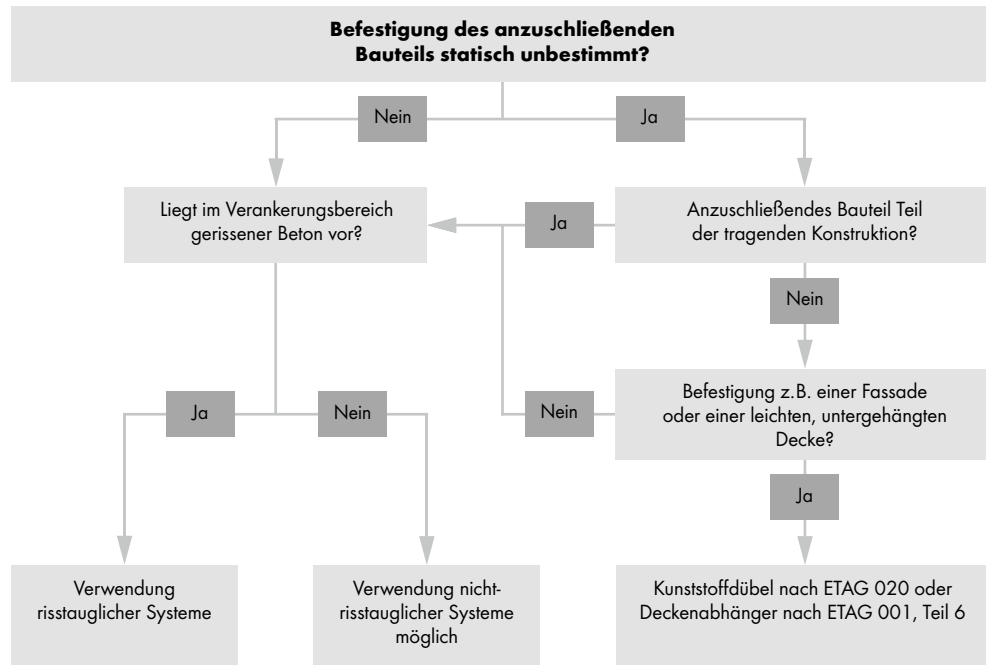


Bild 8.4: Ablaufdiagramm zur Dübelauswahl im Verankerungsgrund Beton

Bei statisch bestimmt gelagerten oder zur tragenden Konstruktion gehörenden Bauteilen ist zu klären, ob ungerissener oder gerissener Beton (siehe Bild 8.5 oder Kapitel 3.2.5) vorliegt. Im Allgemeinen ist von gerissenem Beton auszugehen, da äußere Belastungen und Zwangsspannungen infolge von Temperaturunterschieden oder Verformungen des Betons die geringe Zugfestigkeit des Betons weitestgehend ausnutzen oder überschreiten können. Ein Nachweis von ungerissenem Beton ist nach Gleichung 10.1 zu führen. Dazu bedarf es allerdings grundlegender Kenntnisse bei der Bemessung von Stahlbetonbauteilen.

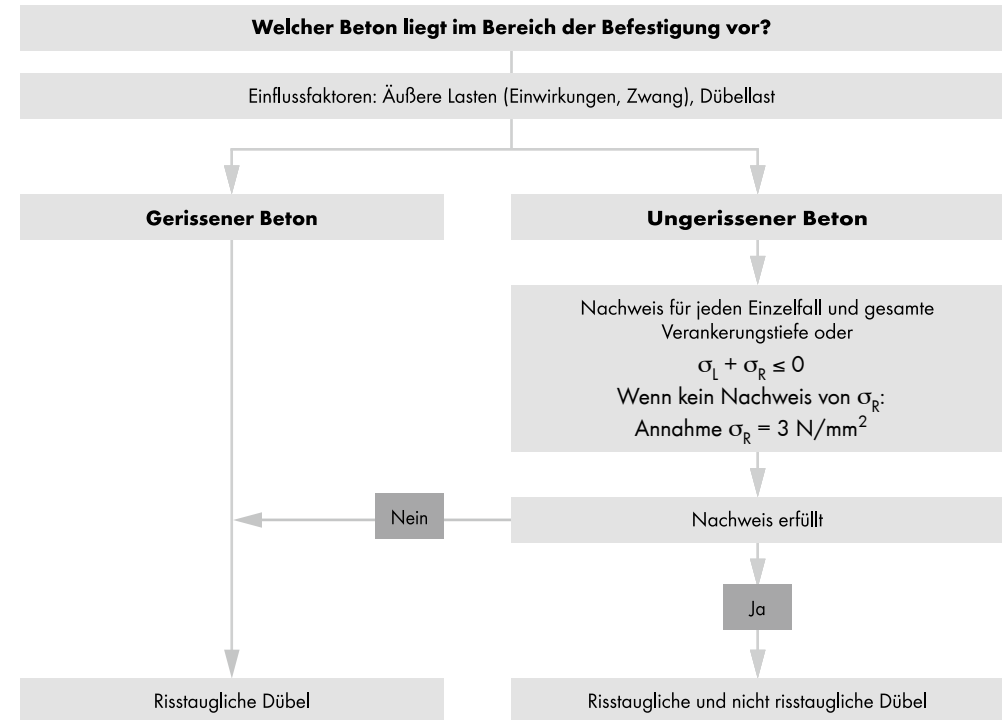


Bild 8.5: Ablaufdiagramm zur Dübelauswahl in Abhängigkeit des Verankerungsgrunds Beton

Die Befestigung von Unterkonstruktionen, wie sie bei Fassaden oder leichten untergehängten Decken verwendet werden, kann mit Deckenabhängern oder risstauglichen Dübeln durchgeführt werden (Bild 8.6). Die Bemessung hat nach den Angaben der jeweiligen Zulassung zu erfolgen. Für Anwendungen in hochfestem Beton (> C50/60) sind Befestigungssysteme i. A. nicht zugelassen.

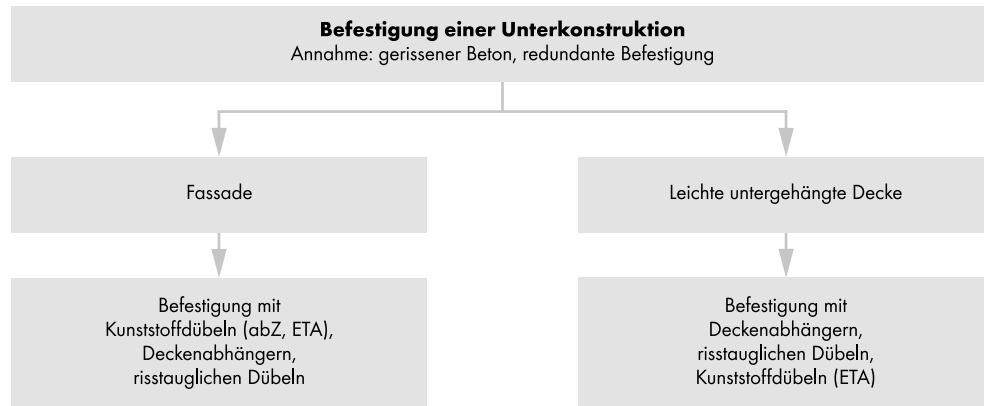


Bild 8.6: Dübel für Unterkonstruktionen

8.3.3 Verankerungsgrund Mauerwerk

Die Auswahl geeigneter Dübel für Verankerungen im Mauerwerk muss in Abhängigkeit der Steinarten Voll- oder Lochstein und der unterschiedlichen Materialien wie Mauerwerksziegel, Kalksandstein sowie Steine aus Normal-, Leicht- und Porenbeton erfolgen. Entsprechen die Materialeigenschaften nicht den in den Zulassungen aufgeführten Steinen sowie die Montage von Befestigungen in Mauerwerk (Bohrverfahren usw.) nicht den in der Zulassung geforderten Bedingungen, ist eine zulässige Last durch Versuche am Bauwerk zu ermitteln (siehe Kapitel 9.6).

8.4 Mindestabmessungen (Rand- und Achsabstände, Bauteildicke)

Bei jeder Anwendung ist darauf zu achten, dass die erforderlichen Mindestachs- und Mindestrandabstände eingehalten werden, um das Auftreten von Spaltrissen bei der Montage (Bild 8.7) zu vermeiden und die angestrebten Traglasten unter Lastbeanspruchung zu erreichen. Die in Zulassungen angegebenen Mindestabstände hängen wesentlich von der Höhe der Spreizkräfte ab [1]. Befestigungssysteme mit geringen Spreizkräften wie Hinterschnitt- und Verbunddübel weisen i. A. geringere Mindestabstände auf als Metallspreizdübel. Daher bieten sich die erstgenannte Dübel bei der Anwendung in Bauteilen mit geringen Abmessungen an. Bei der Montage ist darauf zu achten, dass kalibrierte Drehmomentschlüssel verwendet werden und das in den Montagevorschriften angegebene Montagedrehmoment eingehalten wird.



Bild 8.7: Auftreten von Spaltrissen bei der Montage eines drehmomentkontrolliert spreizenden Dübels in Beton bei Unterschreitung der Mindestrandabstände und/oder Überschreitung des Montagedrehmoments

8.5 Einwirkungen

Befestigungsmittel können durch zentrischen Zug, Querlast oder Schrägzug beansprucht werden (siehe Kapitel 4.1). Liegt das Anbauteil nicht vollflächig am Verankerungsgrund an oder ist das Lochspiel zwischen Durchgangsloch des Anbauteils und Dübel zu groß, ist laut dem Deutschen Institut für Bautechnik [18] eine Biegebeanspruchung zu berücksichtigen. Grenzwerte des Durchgangslochdurchmessers sind in Tabelle 5.1 zusammengestellt.

Liegt eine Biegebeanspruchung des Bolzens vor, führt dies zu deutlichen Abminderungen der Traglast der Befestigung. Daher sollte sie durch konstruktive Maßnahmen – z. B. Ausbildung einer Konsole – vermieden werden.

8.6 Umgebungsbedingungen: Temperatur

Bei der Auswahl einer Befestigung sind die Umgebungsbedingungen hinsichtlich der Temperaturbeanspruchung zu berücksichtigen. Während für Metaldübel keine Einschränkungen hinsichtlich einer Temperaturbeanspruchung gelten, dürfen Verbund- und Kunststoffdübel i. A. bei einer ständigen Temperatur (Langzeitemperatur) zwischen -40 °C und $+50\text{ °C}$ eingesetzt werden. Kurzzeitig sind i. A. Temperaturen bis $+80\text{ °C}$ zulässig. Vereinzelt sind auch höhere Temperaturbeanspruchungen nachgewiesen. Eine Verwendung bei höheren Temperaturbeanspruchungen sowie eventuell damit verbundene Lastreduzierungen sind in jedem Einzelfall zu prüfen (Zulassung).

8.7 Umgebungsbedingungen: Feuchtigkeit

Feuchtigkeit im Verankerungsgrund kann bei Verbund- und Kunststoffdübeln zu einer teilweise deutlichen Traglastreduzierung führen. Bei zugelassenen Systemen wird dieser Einfluss überprüft und bei der Ableitung der zulässigen Last in der Zulassung berücksichtigt [45].

8.8 Umgebungsbedingungen: Korrosion

Galvanisch verzinkte Dübel sind nur für die Anwendung in trockenen Innenräumen geeignet, da die dünne Zinkschicht im Freien keinen dauerhaften Korrosionsschutz bietet.

Eine erhöhte Korrosionsbeanspruchung kann in feuchten Innenräumen oder im Außenbereich auftreten. Bei solchen Anwendungen sind Dübelssysteme aus nichtrostendem Stahl zu wählen. Ausgenommen davon sind Kunststoffdübel mit galvanisch verzinkten Schrauben. Deren Einsatz ist im Außenbereich auch in Industriemosphäre und in Meeresnähe zulässig, wenn der Bereich des Schraubenkopfs ausreichend gegen Feuchtigkeit geschützt wird. Dies sollte z. B. durch einen geeigneten Anstrich des gesamten Schraubenkopfs und am Übergang von Schrauben- und Dübelschaft erfolgen. Vor dem Schraubenkopf muss allerdings eine Fassadenbekleidung oder eine vorgehängte hinterlüftete Fassade befestigt sein.

Liegen besonders aggressive Korrosionsbedingungen vor, ist nichtrostender Stahl A4 nicht ausreichend korrosionsbeständig. Daher sind bei erhöhter Chlorid- oder Schwefeldioxidbelastung, wie sie in Schwimmbadhallen, Bauteilen in Meerwasser und in Straßentunneln auftreten können, besonders hochkorrosionsbeständige Stähle zu verwenden. Um einen ausreichend korrosionsbeständigen Stahl auszuwählen, werden die Stähle und deren Zusammensetzung durch Werkstoffnummern definiert und hinsichtlich ihrer Korrosionsbeständigkeit in Widerstandsklassen eingeordnet (siehe Tabelle 8.2).

Werkstoffnummer	Korrosion Widerstandsklasse/ Anforderung	Typische Anwendungen
1.4003 1.4016	I/Gering	Innenräume
1.4301 1.4541 1.4318 1.4567	II/Mäßig	Zugängliche Konstruktionen ohne nennenswerte Gehalte an Chloriden und Schwefeldioxid
1.4401 ⁴⁾ 1.4404 1.4571 ⁴⁾ 1.4439	III/Mittel	Unzugängliche Konstruktionen ¹⁾ mit mäßiger Chlorid- und Schwefeldioxidbelastung
1.4539 1.4462 1.4565 1.4529 1.4547	IV/Stark	Konstruktionen mit hoher Korrosionsbelastung durch Chloride und Schwefeldioxid (auch bei Aufkonzentration der Schadstoffe, z. B. bei Bauteilen in Meerwasser oder in Straßentunneln). Schwimmbadhallen siehe ²⁾ und ³⁾

1) Als unzugänglich werden Konstruktionen eingestuft, deren Zustand nicht oder nur unter erschwerten Bedingungen kontrolliert werden kann und die im Bedarfsfall nur mit sehr großem Aufwand saniert werden können.

2) Stahl mit der Werkstoffnummer 1.4539 für Bauteile in Schwimmbadhallenatmosphäre ohne regelmäßige Reinigung des Stahls und mit Wasser nach der Trinkwasserverordnung.

3) Stähle mit den Werkstoffnummern 1.4565, 1.4529 und 1.4547 für Bauteile in Schwimmbadhallenatmosphäre ohne regelmäßige Reinigung des Stahls und mit chloridsalzreichem Wasser (z. B. Solewasser)

4) Diese Stahlsorten werden auch als A4-Stähle bezeichnet.

Tabelle 8.2: Bauaufsichtlich zugelassene nichtrostende Stähle und deren Anwendungsbereich nach DIN EN 10088-2 [15]

8.9 Montageart

Unvermeidbare Toleranzen beim Ansetzen eines Bohrers auf den Verankerungsgrund führen oft zu Montageproblemen bei Gruppenbefestigungen mit gemeinsamem Anbauteil. Daher ist bei Gruppenbefestigungen eine Durchsteckmontage zu bevorzugen. Sie erlaubt eine passgenaue Erstellung der Bohrlöcher für alle Dübel durch die Durchgangslöcher des Anbauteils.

In Abhängigkeit von der Montageart sind aufeinander abgestimmte Anbauteile (Durchgangslöcher, Anbauteildicke usw.) und Dübel (Dübellänge usw.) zu verwenden. Bauaufsichtlich zugelassene Systeme zeichnen sich durch Setz- und Montagemarkierungen aus. Dadurch sollen die angestrebte Verankerungsintensität (z. B. Aufspreizung) und die erforderliche Verankerungstiefe garantiert werden. Aber auch fahrlässige Fehler wie z. B. das zu geringe Aufdrehen der Mutter auf den Gewindebolzen werden dadurch minimiert.

8.10 Wirtschaftlichkeit

Bei der Auswahl eines Befestigungssystems sind wirtschaftliche Gesichtspunkte mit zu berücksichtigen. Wesentliche Aspekte dazu enthält Kapitel 12.

9 Grundlagen der Bemessung

9.1 Regelungen

9.1.1 Allgemeines

Im Bauwesen spielen heute nachträgliche Befestigungen eine immer größere Rolle, da sie im Vergleich zu Einlegeteilen flexibel eingesetzt werden können. Die Bemessung von nachträglichen Befestigungen wird immer wichtiger, da die Lasten, die in das Bauwerk über solche Befestigungen eingetragen werden müssen, zunehmend höher werden. Dies erfordert eine optimale Ausnutzung bei gleichbleibender Sicherheit gegen Versagen und die Gebrauchstauglichkeit solcher Verankerungen.

Nachträgliche Befestigungen können mit den unterschiedlichsten Dübeltypen, zum Beispiel Metaldübel, Injektionsdübel oder Kunststoffdübel, ausgeführt werden (siehe Kapitel 5). Die Bemessung unterscheidet sich jedoch nicht nur in Abhängigkeit vom verwendeten Dübeltyp, sondern hängt maßgeblich auch vom Untergrund, in dem die Dübel verankert werden, und der Art der Einwirkung auf die Befestigung ab.

Einwirkungen können unter beliebigen Richtungen sowie dauernd und veränderlich, d. h. statisch, zyklisch (Ermüdungsbeanspruchung) oder seismisch, auftreten. Hierfür stellen Regelwerke wie zum Beispiel die CEN/TS 1992-4 [9] und ETAG 001 [52] Bemessungsansätze vor.

Die Bemessungsrichtlinien der EOTA

- ETAG 001 „Bemessung von Metaldübeln in Beton“ [52],
- EOTA TR 029 „Bemessung von Verbunddübeln in Beton“ [57],
- ETAG 020 „Bemessung von Kunststoffdübeln in Beton und Mauerwerk“ [53],
- ETAG 029 „Bemessung von Verbunddübeln in Mauerwerk“ [54] und
- TR 020 „Bemessung unter Brandbeanspruchung“ [55]

werden immer wieder ergänzt und dem Stand der Technik angepasst.

Bereits im August 2009 wurde der aktuell gültige Stand als Teil des Eurocodes 2 unter dem Titel CEN/TS 1992-4-1 bis 5 „Bemessung der Verankerung von Befestigungen in Beton“ [9] (Deutsche Sprachfassung DIN SPEC 1021-4-1 bis 5 bzw. DIN CEN/TS 1992-4-1 bis 5)) als europäische Vornorm veröffentlicht. Die CEN/TS ist mit dem Gelbdruck einer deutschen Norm vergleichbar und darf nach der Einführung durch die Bauaufsicht als Stand der Technik in der Praxis angewendet werden. Da die Änderung einer solchen Norm im Vergleich zu den europäischen Leitlinien (ETAG) und Technical Reports (TR) relativ aufwendig ist, können die neuesten Erkenntnisse nicht direkt in diese Norm eingearbeitet werden. Daher gibt es zwischen den ETAG und der CEN/TS 1992-4 zeitweise Unterschiede und Diskrepanzen, die jedoch in der Regel vernachlässigbar sind oder durch ingenieurmäßige Ansätze umgangen werden können.

Die CEN/TS 1992-4 ist eine Vornorm, die aus 5 Teilen besteht und Bemessungsverfahren für Kopfbolzen, Ankerschienen sowie mechanische und chemische Dübel zur Übertragung von Lasten in tragende Beton- und Stahlbetonkonstruktionen enthält.

Besondere Fälle bei der Bemessung sind Einwirkungen, die zum Beispiel durch Erdbeben oder Brand hervorgerufen werden. Für die Bemessung von Befestigungen unter Erdbebenbeanspruchungen sind zusätzlich die in CEN/TS 1992-4-1, Anhang E empfohlenen Ergänzungen und Abänderungen zu DIN EN 1998-1:2004, 4.3.5 (Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben) zu berücksichtigen.

Im informativen Anhang C der CEN/TS wird auf die Anforderungen und Maßnahmen in Bezug auf die Dauerhaftigkeit von Befestigungen unter äußerer atmosphärischer Beanspruchung und in ständig feuchten oder aber trockenen Innenräumen eingegangen. Die Bemessung im Brandfall enthält der informative Annex D, der im Wesentlichen dem EOTA TR 020 entspricht.

Befestigungen müssen Einwirkungen zuverlässig und dauerhaft widerstehen. Sie sind daher durch qualifiziertes Personal nach denselben Prinzipien und Anforderungen zu bemessen, die für Bauwerke gelten und in DIN EN 1990 [27] angegeben sind. Eine Bemessung, die auf den in CEN/TS 1992-4 und den Anhängen

Grundlagen der Bemessung

der in DIN EN 1990 angegebenen Teilsicherheitsbeiwerten basiert, führt zu einem Tragwerk, das der Zuverlässigkeitsklasse RC2 entspricht, d. h. einen β -Wert von 3,8 für einen Zeitraum von 50 Jahren aufweist. Die Zuverlässigkeitsklasse ist dabei in der Regel mit der Schadensfolgekategorie direkt verknüpft. Das heißt, die Zuverlässigkeitsklassen RC1, RC2 und RC3 werden mit den Schadensfolgekategorien

- CC1 (niedrige Folgen für Menschenleben und niedriger wirtschaftlicher Schaden),
- CC2 (mittlere Folgen für Menschenleben, beträchtlicher wirtschaftlicher Schaden) und
- CC3 (hohe Folgen für Menschenleben oder hoher wirtschaftlicher Schaden)

nach DIN EN 1990 in direkten Zusammenhang gebracht. Die Einordnung der Befestigungstechnik erfolgt standardmäßig in die Zuverlässigkeitsklasse 2. Nur in Einzelfällen kann oder muss hiervon abgewichen werden.

9.1.2 Bauaufsichtlich relevante Produkte

Das Baurecht unterscheidet zwischen

- bauaufsichtlich relevanten Produkten (teilweise auch bezeichnet als sicherheitsrelevante Produkte)
- bauaufsichtlich nicht relevanten Produkten.

Bei bauaufsichtlich relevanten Produkten gefährdet ein Versagen dieser Produkte die öffentliche Sicherheit oder Ordnung (Gefahr für Leib und Leben). Dies ist immer dann der Fall, wenn durch das Versagen eines Dübels ein Menschenleben gefährdet werden kann, z. B. durch herunterfallende Fassaden- oder Deckenplatten oder durch Versagen des gesamten Tragwerks. Bauaufsichtlich nicht relevante Produkte können nur dann eingesetzt werden, wenn diese Gefahr für Leib und Leben nicht besteht und auch kein hoher wirtschaftlicher Schaden entstehen kann.

Die Grenzen sind hierbei jedoch fließend. Für das Aufhängen eines Bilds an der Wand ist in der Regel keine Zulassung notwendig. Würde das Bild beim Herunterfallen zerstört und wäre es wirtschaftlich und kulturell wertvoll gewesen (z. B. die Holbein-Madonna, die nun in der Johanniterkirche in Schwäbisch Hall hängt), dann hätte auch das Bild nur mit einem bauaufsichtlich relevanten Produkt befestigt werden dürfen.

Für den Einsatz von Bauprodukten in bauaufsichtlich relevanten Anwendungen werden daher Regeln benötigt, die eine ausreichende Sicherheit gegen das Versagen gewährleisten. Die grundlegenden Eigenschaften wie z. B. die Form und die Art der Verwendung sind in den sogenannten „technischen Regeln“ festzuhalten. Dies sind in der Regel die Produktnormen, z. B. für Schrauben, Mauerwerkssteine, Stahlverbinder oder Ähnliches.

Bauprodukte, für die es noch keine allgemein anerkannten technischen Regeln gibt oder die von diesen abweichen, werden als nicht geregelte Bauprodukte bezeichnet. Um sie im bauaufsichtlich relevanten Fall einsetzen zu können, muss ein Verwendungsnachweis erfolgen, d. h. z. B. durch eine Zustimmung im Einzelfall (wird in der Regel bei der obersten Bauaufsichtsbehörde des jeweiligen Bundeslands beantragt, wo das Bauprodukt eingebaut werden soll).

Untergeordnete und damit nicht sicherheitsrelevante Befestigungen werden entsprechend den Erfahrungen des Anwenders ausgeführt. Sie dürfen mit Dübeln ohne Zulassung ausgeführt werden. Zu diesen Befestigungen gehören in der Regel Lampen, Heizkörper und Sanitärobjekte sowie die Verankerung von Fassaden- oder Dachelementen, die in der Liste C des DIBt [17] enthalten sind. Dies sind z. B.:

- Fassadenelemente für Außenwandbekleidungen mit kleinformatigen Elementen ($\leq 0,4 \text{ m}^2$ Fläche und $\leq 5 \text{ kg}$ Eigenlast) bzw. mit breitformatigen Elementen ($\leq 0,3 \text{ m}$ Breite und Unterstützungsabstände durch die Unterkonstruktion $\leq 0,8 \text{ m}$) oder
- Dachelemente für Dacheindeckungen mit kleinformatigen Elementen ($\leq 0,4 \text{ m}^2$ Fläche und $\leq 5 \text{ kg}$ Eigenlast) bzw. mit anderen Elementen bei Unterstützungsabständen durch die Unterkonstruktion von $\leq 1,0 \text{ m}$.

9.1.3 Dübel

Dübel werden dem nicht geregelten Bereich zugeordnet. Der Verwendungsnachweis als Bauprodukt wird entweder über

- eine „allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (abZ)“, die durch das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt) in Berlin erteilt wird, oder
- eine „europäische technische Zulassung (ETA)“, die entweder durch das DIBt oder eine andere europäische Zulassungsstelle erteilt werden kann, oder
- eine Zustimmung im Einzelfall

erbracht. Produktnormen, wie man diese für andere Bauprodukte kennt, gibt es im Bereich der Befestigungstechnik bisher nicht, da der Entwicklungsfortschritt und das Innovationspotenzial zu hoch sind.

Um eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung oder eine europäische technische Zulassung zu erhalten, werden zahlreiche Versuche, entsprechend dem später vorgesehenen Verwendungszweck, durchgeführt. Dabei werden die Funktionen der Dübel unter den möglicherweise auf der Baustelle auftretenden Einflüssen (Dübelmontage, Verankerungsgrund, Feuchtigkeit, ...) ermittelt. Hat ein Dübel diese prinzipiellen Eignungsversuche bestanden, werden Versuche zur Festlegung der Anwendungsbedingungen (maximale Tragfähigkeit, zulässige Rand- und Achsabstände usw.) durchgeführt.

In Tabelle 9.1 sind einige ausgewählte Anwendungsgebiete, für die Zulassungen des DIBt oder eine europäische technische Zulassung (ETA) vorliegen, zusammengefasst.

Zulassungsbescheide, Anwendungsgebiete	DIBt ¹⁾	ETA ²⁾
Ungerissener Beton	x	x
Ungerissener Beton, leichte Deckenbekleidungen	x	x
Gerissener und ungerissener Beton	x	x
Porenbeton	x	x
Verankerung von Fassadenbekleidungen	x	
Verankerung leichter Deckenbekleidungen	x	x
Verankerung von Wärmedämm-Verbundsystemen (WDVS)	x	x
Kunststoffdübel für Mehrfachbefestigungen		x
Sicherung von 2-schaligem Mauerwerk	x	

¹⁾ Nationale allgemeine bauaufsichtliche Zulassung

²⁾ Europäische technische Zulassung

Tabelle 9.1: Ausgewählte Zulassungsbescheide und Anwendungsgebiete

Die große Anzahl unterschiedlicher Anwendungsgebiete, für die eine Zulassung beantragt werden kann, macht die Auswahl nicht immer einfach. Bei jeder Verwendung eines zugelassenen Dübels muss das jeweilige Anwendungsgebiet durch den Zulassungsbescheid abdeckt sein.

9.1.4 Europäische Harmonisierung

Die deutschen Regelungen werden mit dem Zusammenwachsen von Europa zunehmend von europäischen Regelungen abgelöst. Die europäische Bauproduktenrichtlinie¹⁾ [83], die den freien Warenverkehr von Bauprodukten innerhalb des Europäischen Wirtschaftsraums regelt, stellt weiterhin sicher, dass nur brauch-

¹⁾ Die Bauproduktenrichtlinie (BPR) wird ab dem 1. Juli 2013 vollständig durch die Bauproduktenverordnung (EUBauPVO, [86]) ersetzt.

bare Produkte in den Warenverkehr gebracht und verwendet werden. Diese müssen folgende Anforderungen erfüllen:

- Mechanische Festigkeit und Standsicherheit
- Brandschutz
- Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz
- Nutzungssicherheit
- Schallschutz
- Energieeinsparung
- Mit der EUBauPVO kommt die Grundanforderung „Nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen“ hinzu

Danach dürfen Bauprodukte wie z. B. Dübel europaweit vermarktet werden, wenn sie brauchbar sind. Dies erfolgt in der Regel durch die Bestätigung der Konformität (Übereinstimmung) mit einer geltenden Richtlinie oder Vorgabe. Das Produkt ist deshalb mit dem Konformitätszeichen, dem CE-Zeichen, gekennzeichnet. Für Dübel wird in der Regel die Übereinstimmung mit den Leitlinien für die europäische technische Zulassung (ETAG) bestätigt. Liegt eine ETAG vor, werden i. d. R. nur noch für einen begrenzten Übergangszeitraum nationale Zulassungen für Neuprodukte erteilt.

Leitlinien für die europäische technische Zulassung für Dübel gibt es bisher für:

- mechanische Befestigungsmittel wie drehmomentkontrolliert spreizende Metaldübel, Einschlagdübel, Schraubanker und Hinterschnittdübel,
- chemische Befestigungsmittel wie Verbunddübel und Verbund-Spreizdübel in Beton,
- Befestigungsmittel zur Übertragung geringer Lasten in redundanten Tragsystemen (z. B. Deckenabhängiger und Kunststoffdübel),
- Injektionsdübel aus Metall zur Verankerung im Mauerwerk,
- Kunststoffdübel als Mehrfachbefestigung von nichttragenden Systemen im Beton und Mauerwerk und
- Kunststoffdübel zur Befestigung von Wärmedämm-Verbundsystemen (WDVS).

Für mechanische Befestigungsmittel ist der Übergangszeitraum bereits im Juli 2002 abgelaufen. Dies bedeutet, dass der Hersteller eines neuen mechanischen Dübels i. d. R. nur noch eine europäische technische Zulassung beantragt.

Die allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen, die nur in Deutschland Gültigkeit besitzen, werden zunehmend von europäischen technischen Zulassungen abgelöst, da diese in ganz Europa akzeptiert werden, den aktuellen Stand der Technik darstellen und die Produkte im ganzen europäischen Wirtschaftsraum mit einer einzigen Zulassung vermarktet werden können.

9.1.5 Zulassungsinhalte

Die Zulassungsbescheide sind, unabhängig davon, ob vom DIBt oder einer anderen europäischen Zulassungsstelle erteilt, im Wesentlichen gleich aufgebaut und enthalten folgende Angaben:

- Allgemeine Bestimmungen:
Rechtsgrundlagen, Aufgabe, Verwendung und Wirksamkeit des Zulassungsbescheids.

■ Besondere Bestimmungen:

- Zulassungsgegenstand, Beschreibung des Dübels und Verwendungszwecks,
- Bestimmungen für den Dübel:
 - Merkmale, (Werkstoff-)Eigenschaften und Zusammensetzung,
 - Herstellung, Verpackung, Transport, Lagerung und Kennzeichnung,
 - Übereinstimmungsnachweis, Konformitätsbescheinigung, CE-Kennzeichnung,
- Bestimmungen für den Entwurf und die Bemessung,
- Bestimmungen für Ausführung und Montage sowie
- Bestimmungen für Nutzung, Unterhalt und Wartung.

Ergänzend wird darauf hingewiesen, dass sich das anzuwendende Bemessungsverfahren nach der Art und Anzahl der Prüfungen, die der Dübel im Rahmen seines Verwendbarkeitsnachweises (Zulassungsverfahren) durchlaufen hat, richtet. Die Zuordnung von Prüfverfahren und Bemessungskonzepten ist in Tabelle 9.2 beispielhaft für die Vorgehensweise zur Erlangung von europäischen technischen Zulassungen nach ETAG 001 [52] dargestellt. Die Optionen 1 – 6 stehen für Anwendungsbereiche im gerissenen und ungerissenen Beton, wohingegen Produkte, die nach den Optionen 7 – 12 geprüft wurden, nur im ungerissenen Beton eingesetzt werden dürfen. Generell gilt, dass mit sinkender Zahl einer Prüfoption der Anwendungsbereich zunimmt und eine detailliertere und wirtschaftlichere Bemessung durchgeführt werden kann. Das Optimum stellt eine Dübelbemessung nach Bemessungsverfahren A des Annex C der europäischen Zulassungsleitlinie (ETAG) dar. Die aufwendigsten Prüfungen, mit dem umfassendsten Anwendungsbereich, haben demnach Dübel mit Zulassung nach Option 1, den kleinsten Anwendungsbereich Dübel mit Prüfung nach Option 12. Es ist nicht gestattet, einen Dübel für einen anderen Anwendungsbereich als den im Zulassungsbescheid angegebenen zu verwenden.

Option	Gerissen und ungerissen	Nur ungerissen	Nur C20/25	C20/25 bis C50/60	F_{Rk} ein Wert	F_{Rk} abhängig von der Richtung	c_{cr}	s_{cr}	c_{min}	s_{min}	Bemessungsverfahren nach Anhang C
1	x			x		x	x	x	x	x	A
2	x		x			x	x	x	x	x	
3	x			x	x		x	x	x	x	
4	x		x		x		x	x	x	x	B
5	x			x	x		x	x			
6	x		x		x		x	x			C
7		x		x		x	x	x	x	x	A
8		x	x			x	x	x	x	x	
9		x		x	x		x	x	x	x	B
10		x	x		x		x	x	x	x	
11		x		x	x		x	x			C
12		x	x		x		x	x			

Tabelle 9.2: Zuordnung von Prüfverfahren und Bemessungskonzept nach ETAG 001 für Metalldübel zur Verankerung im Beton

9.1.6 Anwendung der Regelungen in der Befestigungstechnik

Für die Anwendung von Regelungen auf Befestigungslösungen mit Dübeln gilt der in Bild 9.1 dargestellte Ablauf. Nicht bauaufsichtlich relevante Befestigungen können nach Herstellerempfehlungen ausgeführt werden.

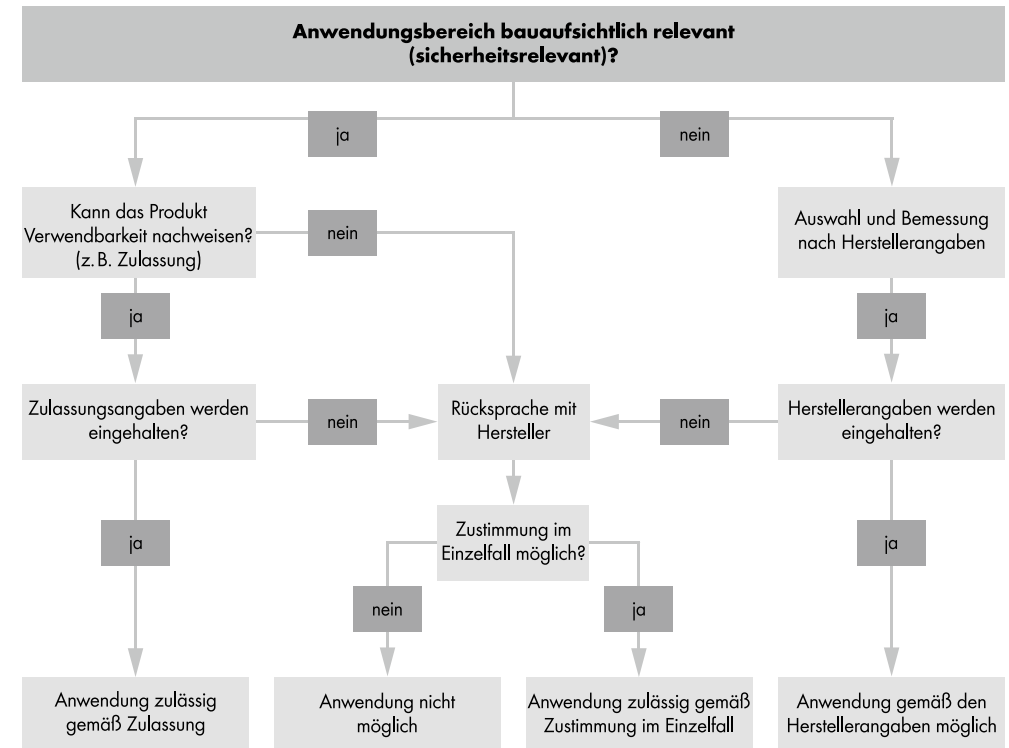


Bild 9.1: Vorgehensweise bei Regelungen für Dübel

9.2 Einzel- oder Mehrfachbefestigungen (redundante Systeme)

9.2.1 Allgemeines

In den Zulassungsbescheiden für Dübel ist festgelegt, ob ein Dübel als Einzel- oder Mehrfachbefestigung (redundantes System) verwendet werden darf. Die Zulassungen verweisen explizit auf das für die Bemessung zu verwendende Verfahren hin, vom dem nicht abgewichen werden darf.

Versagen eines Dübels



Herabfallen

a) Einzelbefestigung

Versagen eines Dübels

b) Mehrfachbefestigung ($n_1 = 5$): Lastumlagerung auf benachbarte Dübel

Bild 9.2: Schematischer Vergleich a) Einzelbefestigung (Versagen des Dübels) und b) Mehrfachbefestigung (Versagen des Gesamtsystems)

9.2.2 Einzelbefestigungen

Dübel für bauaufsichtlich relevante Befestigungen werden üblicherweise als Einzelbefestigungen bemessen. An diese Dübel werden im Rahmen des Zulassungsverfahrens in Beton nach ETAG 001, Teile 1 bis 5 bzw. in Mauerwerk nach ETAG 029 hohe Anforderungen gestellt, da das Versagen eines Befestigungspunkts nicht durch Lastumlagerung abgefangen werden kann und ein unabhängiges Versagen eintritt.

9.2.3 Mehrfachbefestigungen

In Deutschland waren Dübel für untergeordnete Befestigungen wie z.B. Kunststoffdübel mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung des DIBt nur für die Befestigung von Fassadenbekleidungen zugelassen. Diese Zulassungen werden sukzessive durch europäische technische Zulassungen nach ETAG 001, Teil 6 bzw. ETAG 020 (Kunststoffdübel) abgelöst, nach denen sogenannte Mehrfachbefestigungen zur Befestigung von nichttragenden Systemen ausgeführt werden dürfen.

Unter nichttragenden Systemen ist nach den europäischen technischen Zulassungen sinngemäß zu verstehen, dass diese leicht sind und ein Ausfall eines Befestigungspunkts zu keinen großen Schäden führt. Bei Versagen eines Dübels müssen dessen Lasten auf die benachbarten intakten Dübel umgelagert werden. Dadurch kommt es ggf. zu großen Verformungen und Einschränkungen bezüglich der Gebrauchstauglichkeit. Ein Versagen im Sinne von herabfallenden Teilen wird jedoch ausgeschlossen.

Um diese Anforderungen zu gewährleisten, müssen auch für Mehrfachbefestigungen nichttragender Systeme entsprechend zugelassene Dübel verwendet werden. Metaldübel für die Anwendung als Mehrfachbefestigung werden im Rahmen des Zulassungsverfahrens nach ETAG 001, Teil 6 und Kunststoffdübel nach ETAG 020 geprüft. Beide Leitlinien stellen aufgrund des eingeschränkten Einsatzbereichs geringere Anforderungen an das Produkt als ETAG 001, Teil 1 bis 5.

Der Bemessungswert der Einwirkungen $N_{Ed}^{(2)}$ ist abhängig von der Art des Systems. Durch die Begrenzung des Bemessungswerts der Einwirkungen N_{Ed} einer Befestigungsstelle auf einen Wert $\leq n_3$ [kN] ist sichergestellt, dass die Lastübertragung bei übermäßigem Schlupf oder Versagen eines Dübels nicht bei der Bemessung des zu befestigenden Bauteils berücksichtigt werden muss, da die Anforderungen an die Festigkeit und Steifigkeit des zu befestigenden Bauteils eingehalten sind. Allgemein gilt, dass für ein redundantes System immer mindestens drei Abhänger pro Element der abgehängten Unterkonstruktion ($n_1 \geq 3$) erforderlich sind (Bild 9.2 b, Bild 9.3).

Genauere Angaben zu den Werten für n_1 , n_2 und n_3 können ETAG 001, Teil 6, Anhang 1, ETAG 020 oder den europäischen technischen Zulassungsbescheiden für die jeweiligen Dübel entnommen werden.

²⁾ **Hinweis:** Zum vereinfachten Verständnis werden im Folgenden – unabhängig von den aktuell vorliegenden Ausgaben der Leitlinien (ETAG 001 [52], ETAG 020 [53], ETAG 029 [54]), Technical Reports (TR 020 [55], TR 029 [57]) und Normen (DIN EN 1990 [27], DIN CEN/TS-1992-4 [9]) – alle Einwirkungen einheitlich immer mit dem Großenbuchstaben „E“ (E = Effect = Einwirkung) bezeichnet (vgl. auch Kapitel 16.1 und 16.2: E_d , E_k , N_{Ed} , N_{Ek} , V_{Ed} , V_{Ek} , M_{Ed}).

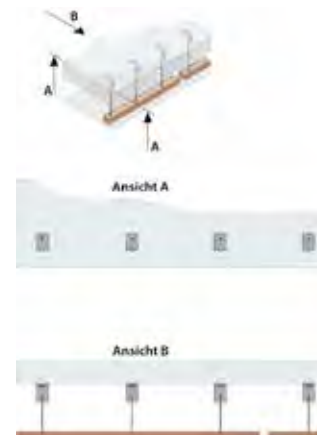


Bild 9.3: Mehrfachbefestigung mit 3 Ankerplatten (= Befestigungsstellen, $n_1 = 3$) und einem Dübel pro Ankerplatte ($n_2 = 1$)



Bild 9.4: Befestigung der Unterkonstruktion für eine als Mehrfachbefestigung ausgebildete abgehängte Decke

Beispiel für ein redundantes System:
mindestens 3 oder mehr Ankerplatten bzw. Abhänger

und

mindestens ein oder mehr Dübel pro Ankerplatte bzw. Abhänger erforderlich

9.3 Nachweiskonzepte

9.3.1 Grenzzustand der Tragfähigkeit

Der Nachweis einer Verankerung erfolgt nach den Angaben in DIN EN 1990 [27]. Dabei muss nachgewiesen werden, dass die vorhandenen Bemessungslasten auf der Einwirkungsseite nicht größer sind als die Bemessungswerte auf der Widerstandsseite.

$E_d \leq R_d$	(Gl. 9.1)
E_d	Bemessungswert der Einwirkung ($E_d = E_k \cdot \gamma_F$)
R_d	Bemessungswert des Widerstands ($R_d = R_k / \gamma_M$)

Die Bemessungswerte der Einwirkungen können DIN EN 1991 [28] entnommen werden, wenn keine nationalen Vorschriften oder Richtlinien vorhanden sind. Die zugehörigen Teilsicherheitsbeiwerte für die Einwirkung sind den der jeweiligen Anwendung entsprechenden Regelungen zu entnehmen (z. B. für den konstruktiven Hochbau nach DIN EN 1992).

Lasten, die sich aus inneren Zwangsverformungen (z. B. Schwinden) oder aus von außen wirkenden Verformungen des Anbauteils (z. B. Temperaturänderungen) ergeben, müssen bei der Bemessung der Befestigungsmittel berücksichtigt werden.

Bei Kunststoffdübeln nach ETAG 020 und Metalledübeln nach ETAG 001, Teil 6, ist der Bemessungswert der Einwirkung N_{Ed} aufgrund der Einschränkung der Gebrauchstauglichkeit und der großen Dübelverschiebungen auf einen Befestigungspunkt begrenzt. Näheres hierzu ist in Kapitel 9.6.1 beschrieben.

9.3.2 Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit dürfen die Verschiebungen unter charakteristischer Last nicht größer werden als die zulässigen Verschiebungen.

Die zulässigen Verformungen sind sehr stark vom vorliegenden System abhängig und daher durch den Planer oder Ingenieur festzulegen. Im Zweifel sind hier genauere Überlegungen anzustellen, welche Auswirkungen die Verschiebungen auf das Tragsystem haben können.

Die charakteristischen Verschiebungen sind in der jeweiligen abZ oder ETA des Dübels, in Abhängigkeit der Belastungsrichtung, angegeben. Dabei darf bzw. muss angenommen bzw. berücksichtigt werden,

- dass die Verschiebung linear von der Belastung abhängt (d. h., wenn die Belastung um 50 % reduziert wird, reduziert sich auch die Verschiebung der Verankerung um 50 %).
- dass bei Verschiebung unter Querlast das Lochspiel gesondert zu betrachten ist, da dies nicht durch die angegebenen Werte berücksichtigt wird.
- dass bei kombinierter Zug- und Querbelastrung die Verschiebungskomponenten vektoriell addiert werden können.

Bei Verankerungen mit Kunststoffdübeln und Injektionsdübeln in Mauerwerk können aufgrund von wechselnden Temperaturen in der Unterkonstruktion (z. B. bei Fassadenelemente) Querlasten mit wechselndem Vorzeichen auftreten. Erfahren Dübel Querlasten mit wechselndem Vorzeichen, ist die Biegebeanspruchung des höchstbeanspruchten Dübels $\Delta\sigma = \sigma_{\max} - \sigma_{\min}$ im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit infolge von Temperaturschwankungen auf $\Delta\sigma < 100 \text{ N/mm}^2$ für Stahl zu begrenzen.

9.4 Bemessungskonzepte

9.4.1 Allgemeines

Zur Bemessung von Befestigungen stehen verschiedene Bemessungskonzepte zur Verfügung. Man unterscheidet zwischen den Bemessungskonzepten

- mit globalem Sicherheitsbeiwert (siehe Kapitel 9.4.2) und
- mit Teilsicherheitsbeiwerten (siehe Kapitel 9.4.3).

Für die Bemessung von Neubauten wird ausschließlich Letzteres verwendet, da es Streuungen und Unsicherheiten hinsichtlich des Materials und der Lastannahmen (ständige und veränderliche) sowie von Montageeinflüssen durch die Aufteilung eines globalen Sicherheitsbeiwerts besser berücksichtigen kann.

Das Bemessungskonzept mit globalem Sicherheitsbeiwert wurde bis vor ca. 15 Jahren angewandt und ist heute nur noch zur Beurteilung von Bestandsbauwerken und für das Bauen im Bestand relevant.

Die im Rahmen der Bemessungsverfahren häufig verwendeten Fachbegriffe sind in Tabelle 9.3 aufgelistet und erläutert.

Begriff	Definition
Höchstlast	Gemessenes Lastmaximum in einem Versuch (Bild 9.5)
Mittlere Höchstlast	Mittelwert der gemessenen Höchstlasten in Versuchen (Bild 9.6)
5 %-Fraktile	Statistischer Wert, der mit einer bestimmten Aussagewahrscheinlichkeit (Sicherheitsniveau für Zulassungen für Befestigungselemente i. A. 90 %) von 5 % der Einzelwerte unterschritten wird (Bild 9.6) $5\% \text{ Fraktile} = N_{Rm} (1 - k \cdot v)$ N_{Rm} Mittelwert der Höchstlasten v Variationskoeffizient der Höchstlasten k Statistischer Wert zur Ermittlung der Fraktile $= 5,31$ für $n = 3$ Versuche $= 3,40$ für $n = 5$ Versuche $= 2,57$ für $n = 10$ Versuche
Charakteristischer Widerstand	Widerstand, den eine Befestigung dem Versagen entgegensetzt. Entspricht dem 5 %-Fraktile der Höchstlasten für die jeweilige Versagensart und Beanspruchungsrichtung
Bemessungswert des Widerstands R_d	Entspricht dem charakteristischen Widerstand geteilt durch den dazugehörigen Material-/Montagesicherheitsbeiwert. $R_d = R_k / \gamma_M$
Zulässige Last F_{zul}	Wert, mit dem das Verankerungselement bei Einhaltung der Anwendungsbedingungen belastet werden darf. Sicherheitsbeiwerte für Last und Material sind bei diesem Wert berücksichtigt. Teilweise werden zulässige Lasten auch als Gebrauchslasten bezeichnet. $F_{zul} = R_k / (\gamma_M \cdot \gamma_F)$
Empfohlene Last	Diese Lasten werden Anwendern vom Hersteller empfohlen und entsprechen den Gebrauchslasten. Sie sind i. A. nicht durch eine Zulassung abgedeckt.

Tabelle 9.3: Begriffsdefinitionen

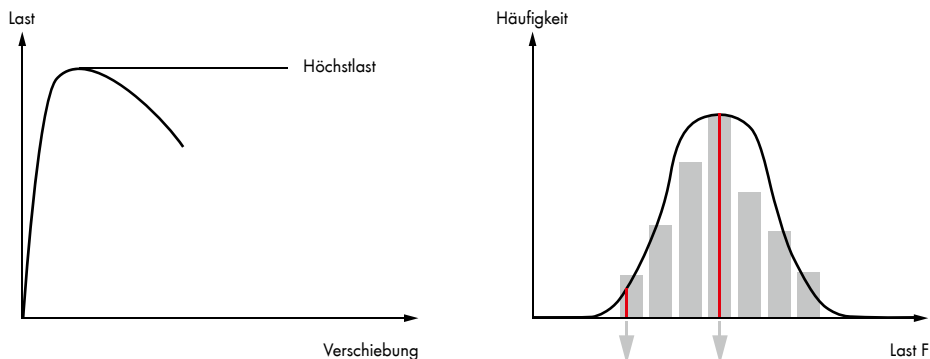


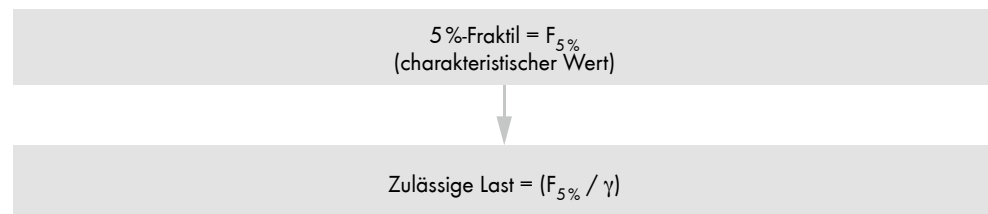
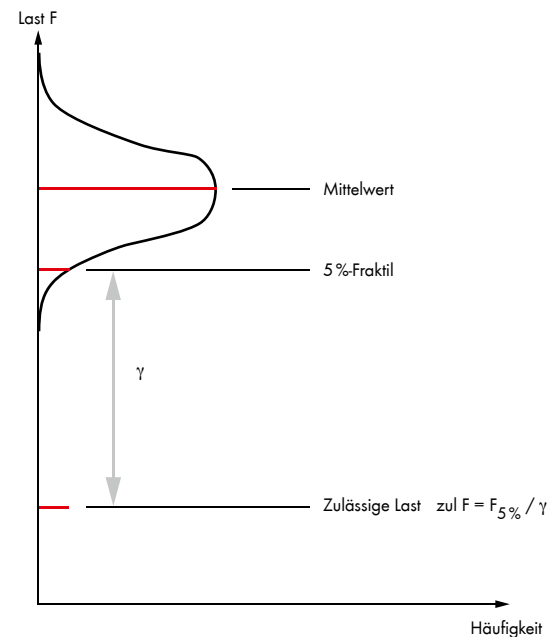
Bild 9.5: Last-Verschiebungskurve mit Höchstlast

Bild 9.6: Mittelwert und 5%-Fraktile in einem Häufigkeitsdiagramm

09

9.4.2 Bemessung mit globalem Sicherheitsbeiwert

Bis ca. 1995 wurde in der Befestigungstechnik vorwiegend mit globalen Sicherheitsbeiwerten bemessen. Bei einer Bemessung mit globalem Sicherheitsbeiwert wird eine zulässige Last aus den 5%-Fraktilewerten der Höchstlasten (dem charakteristischen Widerstand) und einem globalen Sicherheitsbeiwert abgeleitet. In Bild 9.7 ist der Ablauf der Bemessung veranschaulicht, während in Bild 9.8 das Last- und Sicherheitsniveau dargestellt ist.

Bild 9.7: Ablaufdiagramm des Bemessungskonzepts mit globalem Sicherheitsbeiwert γ Bild 9.8: Bemessungskonzept mit globalem Sicherheitsbeiwert γ

Der globale Sicherheitsbeiwert betrug im Allgemeinen $\gamma = 3,0$. Bei sehr geringen Verankerungstiefen ($h_{ef} < 40$ mm) oder Systemen, deren Versagenslasten deutlich durch Montagetoleranzen, Feuchtigkeit oder Temperatur beeinflusst werden (z. B. Kunststoffdübel), wurde der globale Sicherheitsbeiwert $\gamma = 5,0$ angesetzt.

Mit der Einführung der „Bemessungsverfahren für Dübel zur Verankerung im Beton“ [18] durch das DIBt wurde die Bemessung mit globalem Sicherheitsbeiwert sukzessive durch die Bemessung mit Teilsicherheitsbeiwerten abgelöst.

9.4.3 Bemessung mit Teilsicherheitsbeiwerten

Bei der Bemessung mit Teilsicherheitsbeiwerten wird die Einwirkung (Belastung) mit dem Widerstand (Belastbarkeit) verglichen. Als Einwirkung sind die auf eine Befestigung einwirkenden Lasten anzusehen, die je nach Belastungsart und -richtung unterschieden werden können (siehe Kapitel 4). Der Widerstand beschreibt die Kraft, die ein Befestigungssystem unter Ausnutzung der Tragfähigkeit des Verankerungsgrunds den Einwirkungen entgegensetzen kann. Er ist abhängig vom gewählten Befestigungssystem und vom vorhandenen Verankerungsgrund. Die Vorgehensweise bei der Bemessung zeigt Bild 9.9.

09

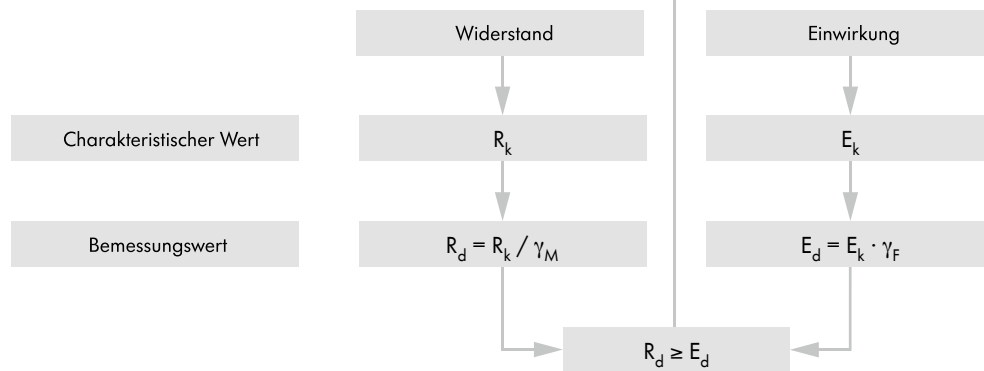


Bild 9.9: Ablaufdiagramm des Bemessungskonzepts mit Teilsicherheitsbeiwerten

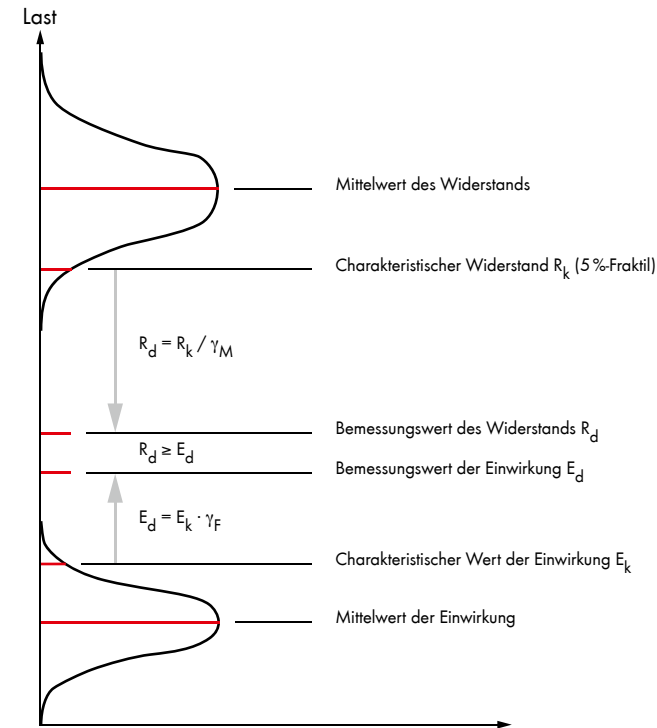


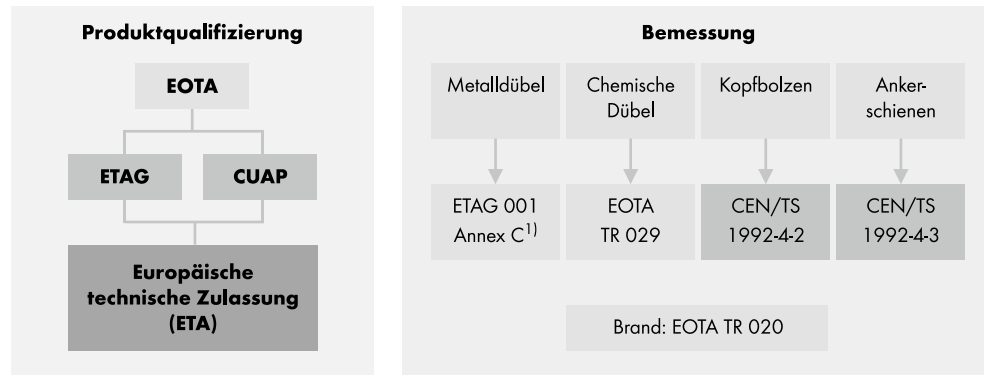
Bild 9.10: Bemessungskonzept mit Teilsicherheitsbeiwerten

Das Bemessungskonzept mit Teilsicherheitsbeiwerten ist schematisch in Bild 9.10 dargestellt. Während bei den Teilsicherheitsbeiwerten auf der Einwirkungsseite nach ständigen und veränderlichen Lasten unterschieden wird, berücksichtigen die Werte der Widerstandsseite vor allem die Streuungen des Materials (Beton, Reibungswerte, Stahl usw.) eines Systems.

9.5 Bemessungsverfahren für Befestigungsmittel in Beton

9.5.1 Allgemeines

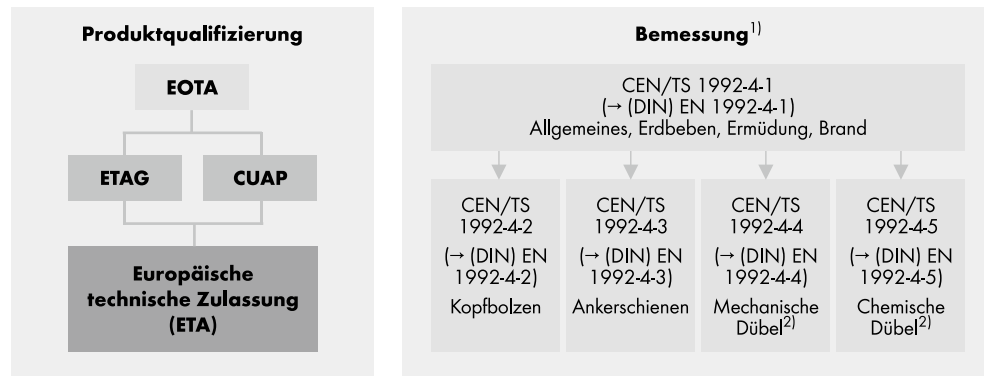
Die früheren Zulassungsbescheide des DIBt beinhalteten das κ -Verfahren (siehe Kapitel 10.2) zur Bemessung von Befestigungen in Beton (Verfahren auf der Basis eines globalen Sicherheitsbeiwerts). Im Zuge der europäischen Harmonisierung auf dem Gebiet der Befestigungstechnik wurde streng auf eine Trennung zwischen Produktqualifizierung, d. h. Ermittlung der produktrelevanten Daten im Rahmen der Zulassungsversuche, und der Bemessung geachtet. Produktrelevante Daten sind in den europäischen technischen Zulassungen festgehalten. Die zugehörige Bemessung wird in einer vom Zulassungsbescheid getrennten Vorschrift geregelt und beruht auf dem in Kapitel 9.4.3 erläuterten Bemessungskonzept der Teilsicherheitsbeiwerte.



¹⁾ Erste Zulassung für Würth Dübel nach CEN/TS 1992-4-4 Ende 2010 erteilt

Bild 9.11: Verknüpfung der aktuellen europäischen Bemessungsvorschriften mit den Zulassungsrichtlinien der EOTA

Bild 9.11 zeigt die Verknüpfung der aktuellen Bemessungsvorschriften mit der Produktqualifizierung nach den europäischen Zulassungsleitlinien. Voraussetzung für die Bemessung ist, dass die Verwendung der zu bemessenden Befestigungsmittel über eine europäische technische Zulassung geregelt ist. Für Kopfbolzendübel und Ankerschienen sind die Angaben für eine Bemessung nach CEN/TS [9] bereits seit 2010 in den ETAs enthalten. Als erster Metalldübel darf der Würth Schraubanker W-SA/S mit Anschlussgewinde M12 ebenfalls bereits seit 2010 nach CEN/TS 1992-4-4 bemessen werden (vgl. ETA-09/0395). Zunächst war geplant, dass die Vornormen CEN/TS 1992-4 mit den Teilen 1 bis 5 in den nächsten Jahren in die europäische Norm (DIN) EN 1992-4-1 bis 5 übergehen (Bild 9.12), also Bestandteil von Eurocode 2 [29] werden. Im Zuge der Überarbeitung der Eurocodes wird mittlerweile aber bereits daran gearbeitet, dass diese 5 Teile in einem Papier zusammengefasst werden, das dann zu (DIN) EN 1992-4 werden soll (vgl. Kapitel 3.2.5, Bild 3.6 b).



¹⁾ Hinweis: Die 5 Teile von CEN/TS 1992-4 werden zukünftig in (DIN) EN 1992-4 zusammengefasst. Die derzeitige deutsche Fassung der CEN/TS wird mit DIN SPEC 1021-4-1 bis 5 bzw. mit DIN CEN/TS 1992-4-1 bis 5 bezeichnet.

²⁾ Nachträglich montierte Dübel

Bild 9.12: Verknüpfung der CEN/TS 1992-4-Reihe (Überführung nach (DIN) EN 1992-4) mit den Zulassungsleitlinien der EOTA

9.5.2 Verfahren

Die Bemessung von Verankerungen basiert auf den in den europäischen technischen Zulassungen festgelegten charakteristischen Widerständen und geometrischen Anwendungsbedingungen (z. B. minimale Rand- und Achsabstände). Nach CEN/TS 1992-4 und ETAG 001, Anhang C werden drei unterschiedliche Bemessungsverfahren (A, B und C) unterschieden. Je nach Bemessungsverfahren sind unterschiedliche Angaben in den europäischen technischen Zulassungen notwendig. Die Verfahren unterscheiden sich dabei im Grad der Vereinfachung (Bild 9.14):

- Bemessungsverfahren A: Der Widerstand wird für alle Lastrichtungen und Versagensarten gesondert berechnet.
- Bemessungsverfahren B: Ein einzelner Wert des Widerstands wird für alle Lastrichtungen und Versagensarten verwendet. Dieser Widerstand ist auf die charakteristischen Werte c_{cr} und s_{cr} bezogen. Es ist erlaubt, für c und s kleinere Werte als c_{cr} und s_{cr} zu verwenden, allerdings muss dann der Widerstand wie angegeben abgemindert werden.
- Bemessungsverfahren C: verfährt analog der Methode B bis auf die Bedingung, dass die Werte von c und s nicht kleiner als c_{cr} und s_{cr} werden dürfen.

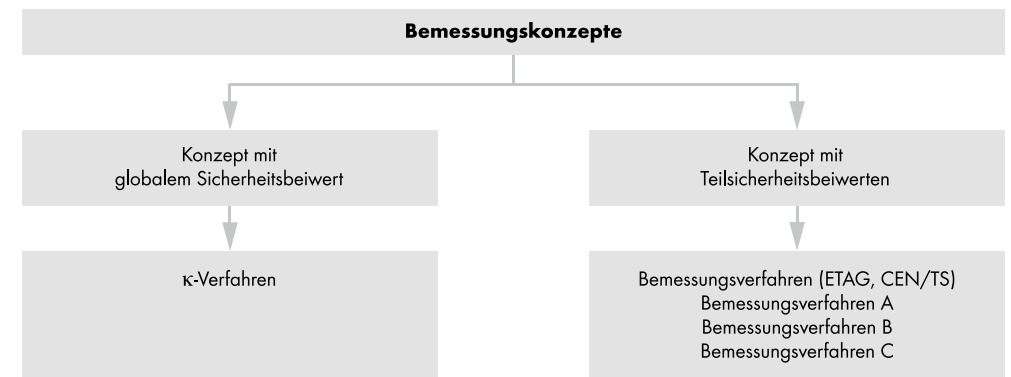


Bild 9.13: Bemessungskonzepte und Bemessungsverfahren in Zulassungen

Die Bemessung nach dem Verfahren A (siehe [52] und [9]) führt zur höchsten wirtschaftlichsten Ausnutzung der Leistungsfähigkeit von Befestigungen, ist jedoch auch mit dem größten Rechenaufwand für den Nachweis einer Verankerung verbunden. Da wichtige Eingangsparameter zur Bemessung nach dem Verfahren A der europäischen technischen Zulassung eines Dübels zu entnehmen sind, können auch nur Dübel, die eine Zulassung besitzen, bemessen werden.

Beim Bemessungsverfahren B (siehe [52]) wird ein charakteristischer Widerstand unabhängig von der Belastungsrichtung angenommen und der Einfluss von geringeren Achs- und Randabständen mit globalen Abminderungsfaktoren berücksichtigt.

Beim Bemessungsverfahren C (siehe [52]) wird nur ein einziger charakteristischer Widerstand angegeben. Dieser gilt für alle Belastungsrichtungen und bestimmte Mindestachs- und Mindestrandabstände, die nicht unterschritten werden dürfen.

Die Verfahren B und C spielen in der Praxis nur noch eine geringe Rolle, da Befestigungen wirtschaftlich nach dem Verfahren A unter Zuhilfenahme von Bemessungssoftware, z. B. der Würth Technical-Software, bemessen werden können. Die wesentlichen Merkmale der Verfahren A, B und C sind in Bild 9.14 zusammengestellt.



Bild 9.14: Charakterisierung der Bemessungsverfahren A, B und C nach ETAG 001, Anhang C bzw. CEN/TS 1992-4

9.5.3 Nachweise

Bei Verfahren mit sehr hohem Ausnutzungsgrad der Dübel, z. B. nach ETAG 001, Anhang C, Verfahren A sind die charakteristischen Widerstände abhängig von der Belastungsrichtung und den möglichen Versagensarten zu ermitteln. Zum Nachweis der Tragfähigkeit müssen die Einwirkungen auf die Dübel kleiner oder gleich dem kleinsten Widerstand sein, der sich aus der Betrachtung der Belastungsrichtung sowie der zugehörigen Versagensart ergibt. Ist diese Bedingung erfüllt, dann ist die Befestigung ausreichend sicher bemessen. Eine Zusammenstellung der Nachweise enthält Bild 9.15.

Details zur Nachweisführung bei dem jeweiligen Bemessungsverfahren enthält Abschnitt 10.

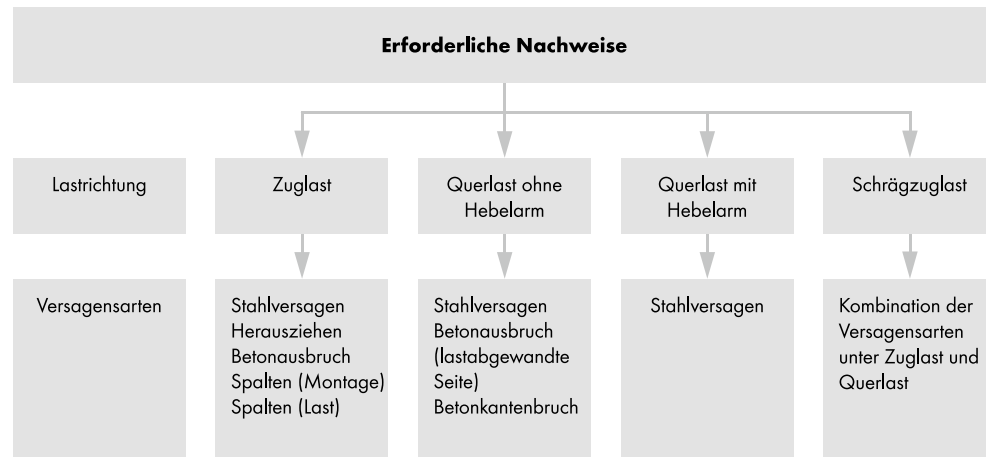


Bild 9.15: Erforderliche Nachweise für eine wirtschaftliche Dübelbemessung

9.6 Bemessungsverfahren für Kunststoffdübel

9.6.1 Allgemeines

Kunststoffdübel für bauaufsichtlich relevante (sicherheitsrelevante) Befestigungen gibt es sowohl mit (nationaler) allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung (abZ) als auch mit europäischer technischer Zulassung (ETA). Der Zulassungsgegenstand ist in beiden Fällen eine Befestigungseinheit aus einer Kunststoff-Dübelhülse und einem dazugehörigen speziellen Spreizelement, in der Regel einer Spezialschraube aus galvanisch verzinktem oder nichtrostendem Stahl.

Die meisten abZs für Kunststoffdübel wurden vom DIBt bisher für „Kunststoff-Rahmendübel zur Befestigung von Fassadenbekleidungen“ (vgl. Kapitel 9.2.3) erteilt. Diese Zulassungen enthalten zulässige Lasten für Verankerungen des Dübels in Beton und in Mauerwerk aus DIN-Steinen (vgl. Kapitel 3.3.2, Bild 3.11). Dabei beinhalten die zulässigen Lasten einen globalen Sicherheitsbeiwert von $\gamma = 5$. Dieser hohe globale Sicherheitsbeiwert ist u. a. auf die Empfindlichkeit der Kunststoffdübel gegen Herausziehen infolge von Bohrlochtoleranzen, Temperatur und Feuchtegehalt der Dübelhülse sowie bei Hohlmauerwerk zusätzlich infolge des Bohrverfahrens zurückzuführen.

ETAs für „Kunststoffdübel als Mehrfachbefestigung von nichttragenden Systemen im Beton und Mauerwerk“ nach ETAG 020 [53] werden seit dem Jahr 2007 erteilt. Im Gegensatz zu den relativ eingeschränkten Verankerungsgründen in den abZ werden in den ETAs die Verankerungsgründe nach Nutzungskategorien unterschieden (vgl. Kapitel 5.4.6, Tabelle 5.4) und charakteristische Tragfähigkeiten ausgewiesen. Abhängig von der Nutzungskategorie werden zugehörige Materialteilsicherheitsbeiwerte angegeben.

Unter bestimmten Voraussetzungen können sowohl für Kunststoffdübel mit abZ als auch für Kunststoffdübel mit ETA die zulässigen Lasten (abZ) bzw. charakteristischen Tragfähigkeiten (ETA) durch sogenannte „Versuche am Bauwerk“ ermittelt werden.

9.6.2 Kunststoff-Rahmendübel mit abZ zur Befestigung von Fassadenbekleidungen

9.6.2.1 Grundlagen

In diesem Kapitel wird nur auf die wichtigsten Regelungen der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen (abZ) für Kunststoff-Rahmendübel zur Befestigung von Fassadenbekleidungen eingegangen; im Kapitel 10 wird auch auf eine Darstellung der Bemessung verzichtet, da diese Zulassungen am 30. April 2014 ihre Gültigkeit verlieren und in dieser Form nicht mehr verlängert werden.

In den abZ für Kunststoff-Rahmendübel zur Verankerung von Fassadenbekleidungen werden Dübel mit den Nenndurchmessern 8 bis 14 mm geregelt. Die zugelassenen Verankerungstiefen (h_v) betragen 50 bis 70 mm für Verankerungen in Beton und 50 bis 90 mm für Verankerungen in Mauerwerk.

Bei der Befestigung von Fassadenbekleidungen darf es sich gemäß den abZ immer nur um „Mehrfachbefestigungen“ (vgl. Kapitel 9.2.3) handeln, d. h. dass die Fassadenbekleidung immer so befestigt sein muss, dass im Falle des Versagens einer Befestigungsstelle eine Lastumlagerung auf mindestens eine benachbarte Befestigungsstelle möglich sein muss, wobei eine Befestigungsstelle aus einem oder mehreren Dübeln bestehen kann. Diese Lastumlagerung wird bei einer Fassadenbekleidung i. d. R. über deren Unterkonstruktion realisiert. Entscheidend ist, dass für diese Lastumlagerung i. d. R. kein statischer Nachweis gefordert wird [73], da eine Lasterhöhung aufgrund des Ausfalls eines Dübels für den benachbarten (zusätzlich Last aufnehmenden) Dübel bereits mit dem globalen Sicherheitsbeiwert (vgl. Kapitel 9.6.1) abgedeckt ist.

Die in den abZ angegebenen zulässigen Lasten gelten für zentrischen Zug, Querlast und Schrägzug unter jedem Winkel. Hierbei ist zu beachten, dass eine ständig wirkende Zugbelastung nur als Schrägzugbelastung (mindestens 10° Neigung zwischen resultierender Kraft und Dübelachse) zulässig ist (Bild 9.16). Bei der Bemessung von Kunststoffdübeln ist nachzuweisen, dass die auf den Dübel einwirkende Last kleiner ist als die zulässige Last. Dabei ist eine gleichzeitig wirkende Zug- und Querlast als resultierende Schrägzuglast anzusetzen.

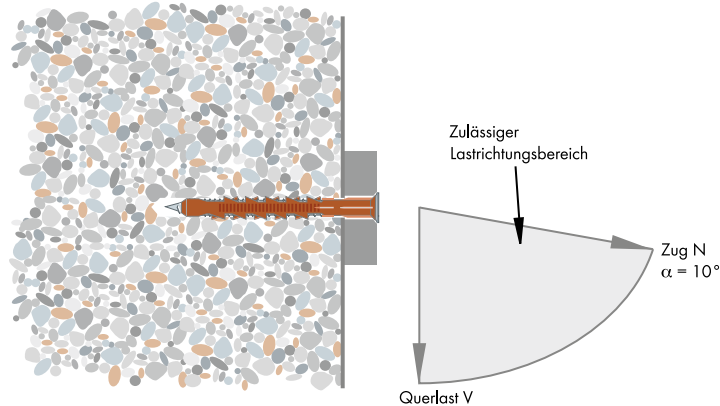


Bild 9.16: Zulässiger Lasttrichtungsbereich für Kunststoffdübel mit abZ zur Befestigung von Fassadenbekleidungen

In Mauerwerk aus Lochsteinen (HLz, KSL, Hbl) dürfen die Bohrlöcher nur mit Bohrmaschinen im Drehgang (ohne Schlag- bzw. Hammerwirkung) erstellt werden. Davon darf nur abgewichen werden, wenn die Tragfähigkeit der Dübel bei Bohrerherstellung mit Schlag- bzw. Hammerwirkung vor Ort durch Versuche am Bauwerk nachgewiesen wird (Näheres in [44] oder in den allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen). Weiterhin müssen in Hochlochziegeln grundsätzlich Versuche am Bauwerk durchgeführt werden, außer es wird nachgewiesen, dass der Untergrund aus Hochlochziegeln nach DIN 105 der Festigkeitsklasse $\geq$ HLz 12 und der Rohdichteklasse $> 1,0 \text{ kg/dm}^3$ besteht und die Dübel mit der Sollverankerungstiefe gesetzt werden. Grundsätzlich gilt, dass bei Verankerungen im Mauerwerk der Dübel nicht in Stoßfugen gesetzt werden darf. Kann die Lage des Dübels zur Stoßfuge nicht angegeben werden (z. B. wegen eines vorhandenen Wandputzes), so ist die zulässige Last zu halbieren, sofern keine Lastumlagerung auf mindestens zwei benachbarte Befestigungsstellen möglich ist.

Die zulässige Last eines Kunststoffdübels gilt nur für genormte Mauerwerkssteine (vgl. Kapitel 3.3.2, Bild 3.11), die jeweils angegebene Mindestverankerungstiefe und Mindestbauteildicke und die jeweils angegebenen Rand- und Achsabstände. Bei Abweichungen von den Zulassungsbedingungen (z. B. Tiefersetzen eines Dübels in einem Lochstein) sind Versuche am Bauwerk zur Bestimmung der zulässigen Last durchzuführen. In Tabelle 9.4 sind die Bedingungen in Abhängigkeit von der Steinart angegeben, bei deren Nichteinhaltung Versuche am Bauwerk vorgeschrieben sind. Generell muss allerdings die prinzipielle Eignung des Dübels in der jeweiligen Steinart bereits im Rahmen des Zulassungsverfahrens nachgewiesen worden sein, was man daran erkennt, dass in der abZ eine zulässige Last für die jeweilige Steinart angegeben ist.

Steinart ¹⁾	Hochlochziegel	Hohlblocksteine – Leichtbeton Hohlblocksteine – Normalbeton Kalksandlochstein	Vollsteine
Randbedingung			
Steinfestigkeit	$< \text{HLz } 12$	Nicht eingehalten	Nicht eingehalten
Rohdichte	$< 1,0 \text{ kg/dm}^3$	–	–
Bohrverfahren	Mit Schlagwirkung	Mit Schlagwirkung	–
Verankerungstiefe	Sollverankerungstiefe nicht eingehalten	Sollverankerungstiefe nicht eingehalten	–
	↓	↓	↓
Durchführung von Versuchen am Bauwerk²⁾			

¹⁾ Steine nach Kapitel 3.3.2, Bild 3.11

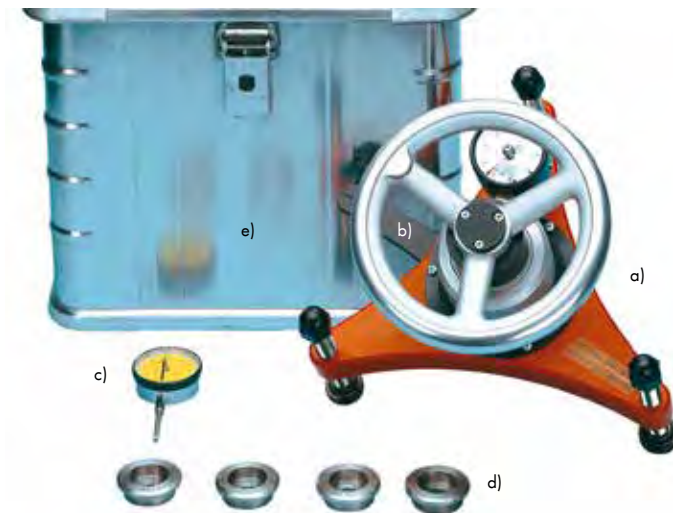
²⁾ bei Nichteinhaltung einer Randbedingung

Tabelle 9.4: Randbedingungen, bei denen Versuche am Bauwerk zur Bestimmung der zulässigen Last von Kunststoffdübeln zur Befestigung von Fassadenbekleidungen durchzuführen sind

9.6.2.2 Bestimmung der zulässigen Lasten durch Versuche am Bauwerk

Wenn Versuche am Bauwerk notwendig werden, so sind mindestens 15 Ausziehversuche mit zentrischer Zugbelastung am Bauwerk im tatsächlich vorhandenen Verankerungsgrund durchzuführen. Bei den Versuchen ist darauf zu achten, dass die Zahl und die Lage der zu prüfenden Dübel den jeweiligen Verhältnissen angepasst werden. Bei unübersichtlichen und größeren Fassadenflächen ist die Anzahl so zu erhöhen, dass eine möglichst brauchbare Aussage über die tatsächliche zulässige Beanspruchung abgeleitet werden kann, also auch die ungünstigsten Anwendungsbedingungen erfasst werden.

Die Durchführung und Auswertung der Versuche sowie die Aufstellung des Versuchsberichts und die Festlegung der zulässigen Lasten erfolgt durch Prüfstellen oder unter Aufsicht der Person, die mit der Bauüberwachung beauftragt wurde.



a) Ausziehgerät mit Analog-Kraftanzeige, b) Messuhrenhalter direkt an der Zugspindel, c) Messuhr zum Messen der Verschiebungen, d) Adapterstücke (mit verschiedenen Lochdurchmessern), e) Schutzkoffer für Transport

Bild 9.17: Mobiles Dübel-Ausziehgerät für Versuche am Bauwerk

Die meisten Dübelhersteller stellen mobile Dübel-Ausziehgeräte (Bild 9.17) für Versuche am Bauwerk zur Verfügung.

Mit dem zu prüfenden Dübel wird ein kreisrundes Adapterstück mit passendem Durchmesser (Bild 9.17 d) gemäß der Montageanweisung des Dübelherstellers an der Oberfläche des Verankerungsgrunds montiert. Das kalibrierte Dübel-Ausziehgerät greift das Adapterstück über eine Klaue, sodass die aufgebrachte Zuglast senkrecht zur Oberfläche des Verankerungsgrunds wirkt und auf die Verankerung übertragen werden kann. Die Prüflast muss dabei langsam und kontinuierlich durch Rechtsdrehen des Handrads erhöht werden. Die Reaktionskräfte müssen mindestens 150 mm vom Dübel entfernt in den Verankerungsgrund (bzw. in angrenzende Steine) eingeleitet werden, damit ein mögliches Ausbrechen des Mauerwerks nicht behindert wird. Die Zuglasten F_1 (beim ersten Laststillstand und gleichzeitiger Wegsteigerung, vgl. Bild 9.18) und F_2 (bei maximaler Last, wenn keine Laststeigerung mehr möglich ist) sind zu protokollieren. Die zulässige Last für den so geprüften Kunststoffdübel ergibt sich aus den beiden abgelesenen Messwerten F_1 und F_2 nach Gleichung 9.2 bzw. 9.3, wobei der kleinere Wert (zul F) maßgebend ist.

$\text{zul } F_1 = 0,23 \cdot F_{1m}$	(Gl. 9.2)
$\text{zul } F_2 = 0,14 \cdot F_{2m}$	(Gl. 9.3)
F_{1m} bzw. F_{2m} Mittelwert aus den 5 kleinsten Werten F_1 bzw. F_2	

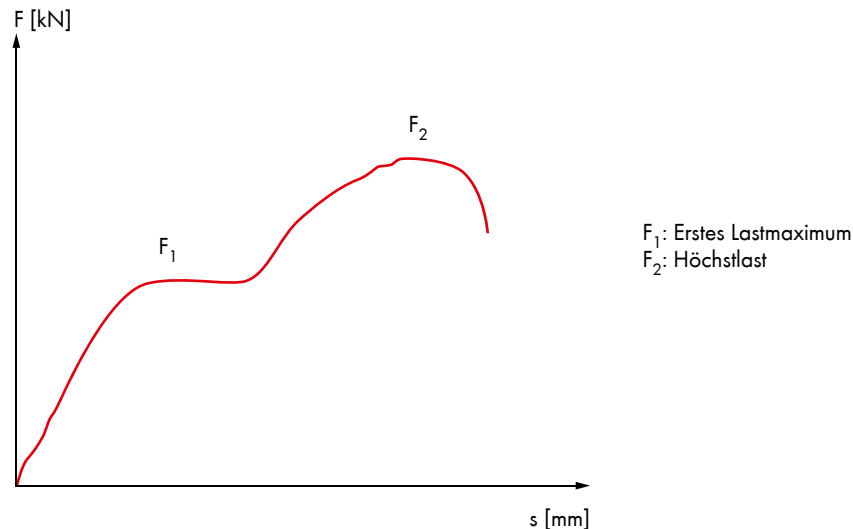


Bild 9.18: Auswertung der in einem Versuch am Bauwerk gemessenen Last-Verschiebungskurve eines Kunststoffdübels

Die aus Versuchen am Bauwerk abgeleiteten zulässigen Lasten von Kunststoffdübeln dürfen die in Tabelle 9.5 aufgeführten oder die in den Zulassungen angegebenen Werte nicht überschreiten.

Steinart	DIN	Durchmesser der Kunststoffdübel		
		d = 8 mm	d = 10 mm	d = 14 mm
		Zulässige Lasten in kN		
Hüttensteine	398	0,25	0,5	0,5
Hohlblöcke – Leichtbeton	18151			
Vollsteine, Vollblöcke – Leichtbeton	18152		0,6	0,6
Mauerstein – Beton	18153			
Vollziegel, Hochlochziegel	105			
Kalksandvollsteine, Kalksandlochsteine	106			

Tabelle 9.5: Maximal aus Versuchen am Bauwerk ableitbare zulässige Lasten für Kunststoffdübel nach abZ

9.6.3 Kunststoffdübel mit ETA als Mehrfachbefestigung von nichttragenden Systemen

9.6.3.1 Anwendungsbereich (Verwendungszweck)

Die Grundlage für die Erteilung von ETAs für Kunststoffdübel ist die im Jahr 2006 verabschiedete „Leitlinie für die europäische technische Zulassung für Kunststoffdübel als Mehrfachbefestigung von nichttragenden Systemen zur Verankerung im Beton und Mauerwerk“ – ETAG 020 [53].

Unter „nichttragenden Systemen“ versteht man im Allgemeinen, dass beim Versagen der Befestigung nicht das ganze Gebäude einstürzen kann, sondern „nur“ das befestigte Teil herabfällt. „Nichttragende Systeme“ tragen ihr Eigengewicht und dürfen „direkte Windlasten“ auf sich selbst aufnehmen (z. B. eine Fassadenplatte). Sie dürfen aber keine „indirekten Windlasten“ (z. B. Aussteifungslasten für ein Gebäude) abtragen.

Im Gegensatz zu den abZ für „Kunststoff-Rahmendübel zur Befestigung von Fassadenbekleidungen“ (vgl. Kapitel 9.6.2) ist der Anwendungsbereich in den ETAs wesentlich allgemeiner gefasst, was mit dem erweiterten zulässigen Lastrichtungsbereich der Kunststoffdübel zu begründen ist. Bisher war die Einleitung einer rein zentrischen Zuglast nicht durch die Zulassung abgedeckt (siehe Kapitel 9.6.2.1). Durch die weiterentwickelten und entsprechend geprüften Dübelssysteme können auch reine zentrische Zuglasten, wie sie beispielsweise bei abgehängten Decken oder abgehängten Rohrleitungen vorkommen, mit Kunststoffdübeln sicher und dauerhaft verankert werden (vgl. Bild 9.19).

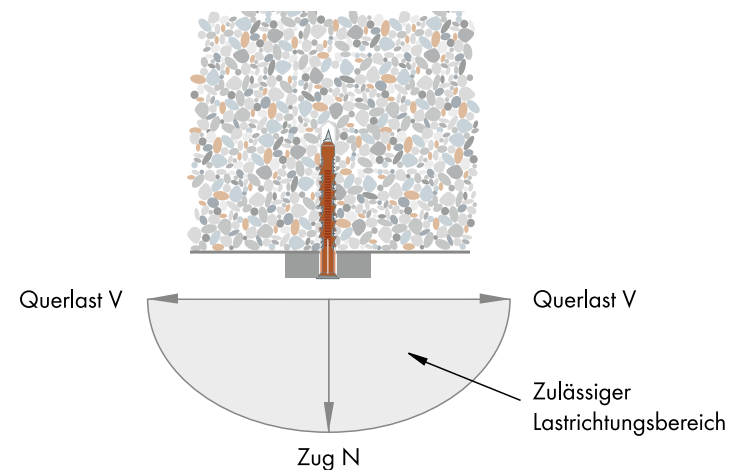


Bild 9.19: Zulässiger Lastrichtungsbereich für Kunststoffdübel mit ETA

Eine weitere Neuerung dieser Zulassungsgeneration ist, dass eine „Mehrfachbefestigung“ nunmehr durch die Anzahl n_1 von Befestigungsstellen zur Befestigung des Bauteils und die Anzahl n_2 von Dübeln je Befestigungsstelle genauer definiert werden kann (vgl. Kapitel 9.2.3). Außerdem ist durch die Festlegung des Bemessungswerts der Einwirkungen N_{Ed} einer Befestigungsstelle auf einen Wert $\leq n_3$ (kN) sichergestellt, dass die Anforderungen an die Festigkeit und Steifigkeit des zu befestigenden Bauteils eingehalten sind und die Lastübertragung bei übermäßigem Schlupf oder Versagen eines Dübels bei der Bemessung des zu befestigenden Bauteils nicht berücksichtigt werden muss.

Für n_1 , n_2 und n_3 dürfen die folgenden Grenzwerte verwendet werden (vgl. Bild 9.3):

$$\begin{aligned} & n_1 \geq 4; \quad n_2 \geq 1 \quad \text{und} \quad n_3 \leq 4,5 \text{ kN} \\ \text{oder} \\ & n_1 \geq 3; \quad n_2 \geq 1 \quad \text{und} \quad n_3 \leq 3,0 \text{ kN}. \end{aligned}$$

Im Gegensatz zu Metaldübeln nach ETAG 001, Teil 6 gilt diese Festlegung einheitlich für die Anwendung im gesamten europäischen Wirtschaftsraum. Für „Metaldübel für die Verwendung als Mehrfachbefestigung von nichttragenden Systemen“ ist in den jeweiligen Mitgliedsstaaten für die unterschiedliche Definition der „Mehrfachbefestigung“, (n_1 , n_2 , n_3) der Anhang 1 zu ETAG 001, Teil 6 [52] zu beachten!

Gemäß der aktualisierten Leitlinie ETAG 020 dürfen auf europäischer Ebene Kunststoffdübel mit

$$\begin{aligned} d \geq 6 \text{ mm} \quad \text{und} \quad h_{\text{nom}} \geq 30 \text{ mm} & \quad \text{für Verankerungen in Beton und mit} \\ d \geq 8 \text{ mm} \quad \text{und} \quad h_{\text{nom}} \geq 50 \text{ mm} & \quad \text{für Verankerungen in den anderen Verankerungsgründen} \end{aligned}$$

zugelassen werden. Als erster Kunststoffdübel mit $d = 6 \text{ mm}$ und $h_{\text{nom}} = 50 \text{ mm}$ für Verankerungen in Beton wurde im Jahr 2011 der Würth Kunststoff-Rahmendübel W-UR 6 SymCon zugelassen (ETA-11/0309).

9.6.3.2 Verankerungsgründe

Die Verankerungsgründe für Kunststoffdübel werden in sogenannte Nutzungskategorien eingeteilt (vgl. Kapitel 5.4.5, Tabelle 5.4); im Detail sind das die folgenden Baustoffe:

- Nutzungskategorie „a“: Normalbeton der Festigkeitsklassen C12/15 bis C50/60 nach DIN EN 206-1 [32]
- Nutzungskategorie „b“: Mauerwerk aus Vollsteinen mit höchstens 15 % Lochanteil des Steinquerschnitts (Vollziegel, Kalksandvollsteine und Vollsteine aus Beton)
- Nutzungskategorie „c“: Mauerwerk aus Hohl- oder Lochsteinen (Hochlochziegel, Kalksandlochsteine und -blöcke und Hohlblocksteine aus Beton)
- Nutzungskategorie „d“: Dampfgehärteter Porenbeton der Festigkeitsklassen P2 bis P7 nach DIN EN 771-4 „Porenbetonsteine“ [33] und DIN EN 12602 „Vorgefertigte bewehrte Bauteile aus dampfgehärtetem Porenbeton“ [26]

Eine Kombination einzelner Nutzungskategorien ist ebenfalls möglich, d. h., es ist nicht zwingend erforderlich, dass ein Kunststoffdübel in allen Nutzungskategorien geprüft und zugelassen werden muss.

Für Verankerungen in Mauerwerk muss der Mörtel des Mauerwerks mindestens der Druckfestigkeitsklasse M2,5 gemäß DIN EN 998-2 [34] entsprechen.

Die abZ für Kunststoffdübel zur Befestigung von Fassadenbekleidungen (Kapitel 9.6.2) gilt für Steine, die nach einer nationalen Norm produziert werden. Nur für diese DIN-Steine (vgl. Kapitel 3.3.2, Bild 3.11) sind entsprechende Lasten in den Zulassungen enthalten. In eine ETA für Kunststoffdübel nach ETAG 020 kann jeder Stein, der den Angaben der europäischen Norm EN 771 (deutsche Sprachfassung: DIN EN 771 [33]) entspricht, integriert werden. DIN EN 771 enthält jedoch keine detaillierten Angaben über das Format, die Stege und Wandungen, den Lochanteil, die Größe der Löcher und das Lochbild der jeweiligen Steine. Dies resultiert daraus, dass die regional unterschiedliche geschichtliche Entwicklung der Bauweisen in Europa und

die dadurch entstandene sehr große Vielfalt an Steinen nicht problemlos in einer Norm abgebildet werden kann. Daher gelten die in den europäischen technischen Zulassungen für Kunststoffdübel angegebenen charakteristischen Tragfähigkeiten nur für genau die Steine, die in der ETA beschrieben sind.

Dies bedeutet, dass in den ETAs auch charakteristische Tragfähigkeiten für Kunststoffdübel in bauaufsichtlich zugelassenen Steinen (z. B. Poroton S11 der Firma Schlagmann/Wienerberger) angegeben werden dürfen. Dieser deutlich erweiterte Anwendungsbereich bezüglich der Verankerungsgründe in den ETAs stellt gegenüber den abZ (für Kunststoffdübel zur Befestigung von Fassadenbekleidungen) einen erheblichen Fortschritt für die Praxis dar.

Die charakteristischen Tragfähigkeiten der Kunststoffdübel, die für die unterschiedlichen geprüften Steine in der ETA angegeben sind, gelten in der Regel auch für den jeweils gleichen Stein mit höherer Druckfestigkeit bzw. größeren Abmessungen, da hier kein negativer Einfluss auf die Tragfähigkeit des Kunststoffdübels im Verankerungsgrund zu erwarten ist. Allerdings dürfen die in der ETA angegebenen charakteristischen Tragfähigkeiten auch für die höheren Druckfestigkeiten bzw. größeren Abmessungen der Steine nicht erhöht werden. Liegen andere Steine vor als in der ETA ausgewiesen, kann der Wert der charakteristischen Tragfähigkeit unter bestimmten Voraussetzungen durch Versuche am Bauwerk ermittelt werden (siehe Kapitel 9.6.3.5).



Bild 9.20: Würth W-UR 10, für alle Nutzungskategorien zugelassener Kunststoffdübel (ETA-08/0190)

9.6.3.3 Temperaturen bei der Montage und während der Nutzung

Nach abZ (vgl. Kapitel 9.6.2) darf ein zugelassener Kunststoffdübel bei Temperaturen unter 0°C grundsätzlich nicht mehr montiert werden. Nach den ETAs für Kunststoffdübel hängt die Einbautemperatur nunmehr vom Produkt bzw. vom für den Dübel verwendeten Kunststoff ab. Hier sind individuelle Montagetemperaturen von beispielsweise -20°C (Würth W-UR 10 – vgl. ETA-08/0190) oder sogar -40°C (Würth W-UR 14 SymCon – vgl. ETA-11/0309) möglich.

Temperaturen sind aber nicht nur bei der Montage ausschlaggebend. Auch bei der Nutzung können Temperaturschwankungen auftreten, was in den ETAs berücksichtigt wird. Dafür sind im Regelfall für die Temperaturbereiche $+30^\circ\text{C} / +50^\circ\text{C}$ und $+50^\circ\text{C} / +80^\circ\text{C}$ charakteristische Tragfähigkeiten in den ETAs enthalten. Dabei steht die erste Temperaturangabe jeweils für die maximale Langzeittemperatur, die maximal für längere Zeit im Bereich der Befestigung vorhanden sein darf, und die zweite Temperaturangabe jeweils für die Kurzzeittemperatur, die in diesem Lastbereich für kurze Zeit auftreten, aber ebenfalls nicht überschritten werden darf. Dies kann beispielsweise bei Fassadenkonstruktionen eine Rolle spielen, da auch in mitteleuropäischen Breitengraden hinter Fassadenelementen bei voller Sonneneinstrahlung kurzzeitig Temperaturen von über $+80^\circ\text{C}$ auftreten können. Diese hohen Temperaturen treten jedoch nur für eine gewisse Zeit auf und sind nicht ständig im Bereich der Befestigung vorhanden, entsprechen also der Kurzzeittemperaturbelastung.



Bild 9.21: Befestigungen mit modernen Kunststoffdübeln sind jetzt auch im Winter möglich (Bild Küenzlen)

9.6.3.4 Bemessung mit charakteristischen Tragfähigkeiten

Im Gegensatz zu den abZ für „Kunststoffdübel für die Befestigung von Fassadenbekleidungen“ werden in den ETAs für „Kunststoffdübel als Mehrfachbefestigung von nichttragenden Systemen“ nach ETAG 020 keine „zulässigen Lasten“ (Bemessung mit globalem Sicherheitsbeiwert – vgl. Kapitel 9.4.2), sondern „charakteristische Tragfähigkeiten“ (Bemessung mit Teilsicherheitsbeiwerten – vgl. Kapitel 9.4.3) für die Dübel in den unterschiedlichen Verankerungsgründen angegeben. Beide Angaben können nicht direkt miteinander verglichen werden!

Werden charakteristische Tragfähigkeiten angegeben, so sind zusätzlich verschiedene Teilsicherheitsbeiwerte (γ_F und γ_M), die den jeweiligen charakteristischen Einwirkungen (E_k) und charakteristischen Widerständen (R_k) zugeordnet sind (vgl. Kapitel 9.4.3, Bild 9.10), bei der Bemessung zu beachten. Dies bedeutet, dass in den ETAs im Gegensatz zu den abZ keine zulässigen Lasten mehr direkt aus der Zulassung abgelesen werden können und immer eine Bemessung bzw. Berechnung für den jeweiligen Anwendungsfall notwendig ist (Näheres dazu siehe Kapitel 10.4).

Möchte man „wie gewohnt“ bzw. überschlägig eine zulässige Last ermitteln, so ergibt sich diese nach Gleichung 9.4. Der Teilsicherheitsbeiwert der Einwirkung ist DIN 1055 zu entnehmen, vereinfachend kann er mit $\gamma_F = 1,4$ angenommen werden, wenn nicht zwischen veränderlicher und ständiger Einwirkung unterschieden werden kann/soll.

$F_{zul} = F_{Rk} / (\gamma_F \cdot \gamma_M)$		(Gl. 9.4)
F_{zul}	Zulässige Last (vergleichbar mit der Angabe aus abZ für Kunststoffdübel)	
F_{Rk}	Charakteristische Tragfähigkeit (Angabe in der ETA für die verschiedenen Verankerungsgründe)	
γ_F	Teilsicherheitsbeiwert der Einwirkungen	
γ_M	Materialteilsicherheitsbeiwert (Angabe in der ETA für die verschiedenen Verankerungsgründe)	

Der Anhang C zu ETAG 020 enthält zwei unterschiedliche Bemessungsverfahren für Verankerungen mit Kunststoffdübeln.

- Das Bemessungsverfahren für Verankerungen von Kunststoffdübeln im Beton ist sehr eng an das Bemessungsverfahren für Metalldübel nach ETAG 001, Anhang C bzw. CEN/TS 1992-4-1 und CEN/TS 1992-4-4 angelehnt. Mit diesem Bemessungsverfahren können die charakteristischen Tragfähigkeiten für die

unterschiedlichen Versagensarten und Lastrichtungen berechnet werden. Aus diesen werden mithilfe der jeweiligen Teilsicherheitsbeiwerte, die für die verschiedenen Versagensarten unterschiedlich sind, Bemessungswerte ermittelt.

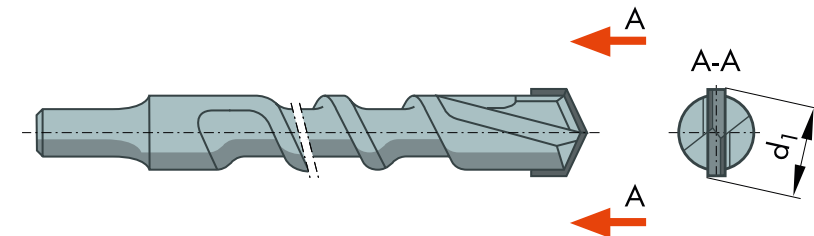
- Für Verankerungen in Mauerwerk und Porenbeton ist wegen der geringeren charakteristischen Tragfähigkeiten ein vereinfachtes Bemessungsverfahren vorgesehen. Es wird für alle Lastrichtungen (Zug, Querlast und Schrägzug unter jedem Winkel) nur eine einheitliche charakteristische Tragfähigkeit des Dübels angegeben, die sowohl für Einzeldübel als auch für Dübelgruppen aus 2 und 4 Dübeln gilt.

Bei nicht sichtbaren Stoßfugen im Mauerwerk, z. B. bei verputzten Wänden, oder bei Mauerwerk mit nicht vermörtelten offenen Stoßfugen ist der Bemessungswert der Tragfähigkeiten in der Regel auf 50 % bzw. auf maximal $N_{Rd} = 2,0$ kN zu reduzieren. Letztere Forderung soll bei glatten nicht vermörtelten Stoßfugen (Stoßfugen ohne Verzahnung) sicherstellen, dass kein einzelner Stein aus der Wand herausgezogen werden kann. Eine Ausnahme stellt hier der Würth Kunststoff-Rahmendübel W-UR 14 SymCon dar: Für Verankerungen in Stoßfugen und Lagerfugen in Mauerwerk aus Hochlochziegeln muss die zuvor genannte Reduzierung der charakteristischen Tragfähigkeiten nicht berücksichtigt werden (für Einzelheiten siehe ETA-11/0309).

9.6.3.5 Bestimmung der charakteristischen Tragfähigkeit durch Versuche am Bauwerk

Die charakteristische Tragfähigkeit eines Kunststoffdübels muss durch Versuche am Bauwerk ermittelt werden, wenn für den vorhandenen Verankerungsgrund keine charakteristischen Tragfähigkeiten in der ETA angegeben sind (z. B. für Mauerwerk aus anderen Vollsteinen, Hohl- oder Lochsteinen und Hohlblöcken) oder wenn von dem in der ETA angegebenen Bohrverfahren bzw. der angegebenen Setztiefe abgewichen wird. Die ETA muss allerdings die entsprechende Nutzungskategorie abdecken, d. h., Versuche am Bauwerk in einem Hochlochziegel (z. B. Format X, Lochbild X, Druckfestigkeitsklasse X oder Rohdichteklasse X) sind nur dann zulässig, wenn im Rahmen der Zulassungsverfahren bereits für einen anderen Hochlochziegel (z. B. Format Z, Lochbild Z, Druckfestigkeitsklasse Z oder Rohdichteklasse Z) die grundsätzliche Eignung für die Verankerung des Kunststoffdübels geprüft wurde und für diesen Stein charakteristische Tragfähigkeiten des Dübels in der ETA ausgewiesen werden. Deckt die ETA nur die Kategorie Kalksandlochstein ab, so können für Hochlochziegel keine charakteristischen Tragfähigkeiten durch Versuche am Bauwerk abgeleitet werden.

Für die praktische Durchführung der Versuche gilt Kapitel 9.6.2.2. In den ETAs wird ergänzend gefordert, dass für die Bohrerherstellung neue Bohrer zu verwenden sind. Alternativ enthalten die ETAs Angaben, welche Schneidendurchmesser (Bild 9.22, Maß d_1) der Bohrer einzuhalten sind. Der Ist-Durchmesser muss vor und nach dem Bohren im Prüfbericht protokolliert werden, wenn keine neuen Bohrer verwendet werden.

Bild 9.22: Zweischneidiger Mauerbohrer mit durchgehender Schneidplatte, Definition Schneidendurchmesser (d_1) nach [13]

Abweichend zu den abZ für Kunststoffdübel zur Befestigung von Fassadenbekleidungen muss gemäß den ETAs für Kunststoffdübel bei den Versuchen am Bauwerk nur noch die Bruchlast N_1 aufgezeichnet werden ($N_1 = F_2$ in Bild 9.18). Die charakteristische Last F_{Rk1} erhält man dann aus der Auswertung der Versuchsergebnisse nur noch über den Wert N_1 :

$F_{Rk1} = 0,5 \cdot N_1 \leq F_{Rk}$	(Gl. 9.5)
N_1	Mittelwert der fünf kleinsten Messwerte bei Höchstlast im Versuch

Die charakteristische Tragfähigkeit F_{Rk1} muss kleiner oder gleich der charakteristischen Tragfähigkeit F_{Rk} sein, die im Zulassungsbescheid (ETA) für gleichartiges Mauerwerk (Steine oder Blöcke) angegeben ist. Der Bemessungswert ergibt sich, indem die charakteristische Tragfähigkeit durch den Sicherheitsbeiwert $\gamma_{Mm} = 2,5$ (Deutschland) dividiert wird. Für die Erstellung des erforderlichen Prüfberichts siehe sinngemäß Kapitel 9.7.2.3.5.

9.7 Bemessungsverfahren für Injektionssysteme in Mauerwerk

9.7.1 Injektionssysteme mit abZ zur Verankerung in Mauerwerk und Porenbeton

Zugelassene Injektionssysteme dürfen für die in Tabelle 9.6 zusammengestellten Verankerungsgründe und die dort angegebenen zulässigen Lasten eingesetzt werden. Dabei sind die vorgegebenen Rand- und Achsabstände einzuhalten. Die zulässigen Lasten gelten auch für die Montage in oder neben Fugen. Die Verankerung dieser Systeme in Porenbeton ist ebenfalls zulässig. Alle besonderen Einzelheiten hierzu enthalten die jeweiligen allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen (abZ).

Durchmesser Ankerstange			M8	M10	M12
Verankerungstiefe [mm]			93	93	93
Steinart	DIN		Zulässige Last [kN]		
Vollziegel	105	≥ Mz 12	1,7		
Kalksandvollsteine	106	≥ KS 12	1,7		
Hochlochziegel	105	≥ HLz 4	0,3/0,6 ¹⁾		
		≥ HLz 6	0,4/0,8 ¹⁾		
		≥ HLz 12	0,8/1,0 ¹⁾		
Kalksandlochsteine	106	≥ KSL 4	0,4/0,6 ²⁾		
		≥ KSL 6	0,6/0,8 ²⁾		
		≥ KSL 12	0,8/1,4 ²⁾		
Hohlblöcke – Leichtbeton	18151	≥ Hbl 2	0,3/0,5 ¹⁾		
		≥ Hbl 4	0,6/0,8 ¹⁾		
Hohlblöcke – Normalbeton	18153	≥ Hbn 4	0,6/0,8 ¹⁾		
			Achs- und Randabstände, Bauteildicke		
Achsabstand	a	[mm]	100 ^{3), 4)}		
Mindestzwischenabstand	a _z	[mm]	250		
Randabstand	a _r	[mm]	200		
Randabstand bei besonderen Bedingungen ⁵⁾	a _r	[mm]	50 (60)		
Mindestbauteildicke	d	[mm]	110		

¹⁾ Nur gültig, wenn die Bohrlöcher im Drehgang erstellt werden

²⁾ Nur gültig, wenn die Bohrlöcher im Drehgang erstellt werden und nachgewiesen wird, dass die Dicke des Außenstegs mindestens 30 mm beträgt

³⁾ Bei Hohlblöcken aus Normal- und Leichtbeton 200 mm

⁴⁾ Bei Befestigungen in Hochlochziegeln und Kalksandlochsteinen darf bei Gruppen mit zwei und vier Dübeln der Achsabstand auf red a = 50 mm reduziert werden, wenn die zulässige Last pro Dübel nach den Gleichungen 9.6 bzw. 9.7 bis 9.8 vermindert wird.

⁵⁾ Mauerwerk mit Auflast und Kippnachweis und nicht zum freien Rand gerichteter Querlast; Klammerwert gilt für Verwendung im Vollstein

Tabelle 9.6: Zulässige Lasten sowie Achs- und Randabstände für Injektionsdübel in Mauerwerk

In Hochlochziegeln und Kalksandlochsteinen sind Gruppenbefestigungen mit zwei oder vier Dübeln mit reduzierten Achsabständen zulässig. Dies ist in Hohlblocksteinen aus Leichtbeton (Hbl) oder Beton (Hbn) nicht erlaubt. Der Mindestachsabstand für Gruppenbefestigungen beträgt min a = 50 mm. Die Berechnung der reduzierten zulässigen Lasten für Gruppenbefestigungen (in Mz, KS, HLz und KSL) erfolgt nach den Gleichungen 9.6 bzw. 9.8.

Gruppe mit zwei Dübeln:	$\text{red } F = \text{zul } F \cdot \kappa_a$	(Gl. 9.6)
	$\kappa_a = [1 + (\text{red } a / a)] \cdot (1 / 2) \leq 1$	(Gl. 9.7)
Gruppe mit vier Dübeln:	$\text{red } F = \text{zul } F \cdot \kappa_{a1} \cdot \kappa_{a2}$	(Gl. 9.8)
	$\kappa_{a1} = [1 + (\text{red } a_1 / a)] \cdot (1 / 2) \leq 1$	(Gl. 9.9)
	$\kappa_{a2} = [1 + (\text{red } a_2 / a)] \cdot (1 / 2) \leq 1$	(Gl. 9.10)
red F	Reduzierte zulässige Last eines Dübels	
zul F	Zulässige Last eines Dübels nach Tabelle 9.6	
red a ₁	Achsabstand in Richtung 1 ≥ 50 mm	
red a ₂	Achsabstand in Richtung 2 ≥ 50 mm	
a	Achsabstand nach Tabelle 9.6	

Bei der Montage eines Injektionsdübels in einem Stein eines Mauerwerksverbands kann der gesamte Stein herausgezogen werden. Daher werden die zulässigen Lasten im Mauerwerk durch die Tragfähigkeit eines Steins im Mauerwerksverband begrenzt und die in Tabelle 9.7 angegebenen Lasten dürfen nicht überschritten werden.

Steinforma ¹⁾	Maximale Last in kN	
	Ohne Auflast	Mit Auflast
≤ 3 DF	1,0	1,4
4 DF bis 10 DF	1,4	1,7
≥ 10 DF	2,0	2,5

¹⁾ Gilt für alle Steinarten nach Tabelle 9.6

Tabelle 9.7: Maximale Lasten, die durch einen Einzeldübel oder Dübelgruppen in einen Stein eingeleitet werden dürfen

Beim Biegenachweis darf das im Zulassungsbescheid angegebene zulässige Biegemoment vom einwirkenden Biegemoment nicht überschritten werden. Für das einwirkende Biegemoment wird als Hebelarm das Maß l nach Bild 4.3 angesetzt. Bei gleichzeitigem Auftreten eines Biegemoments und einer Zuglast ist Gleichung 9.11 einzuhalten:

$F_z = \text{zul } F [1 - (M / M_{\text{zul}})]$	(Gl. 9.11)
zul F	Zulässige Last nach Zulassung
zul M	Zulässiges Biegemoment nach Zulassung
M	Vorhandenes Biegemoment

Auf eine ausführliche Darstellung in Abschnitt 10 wird verzichtet, da die allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen in diesem Bereich nach und nach durch europäische technische Zulassungen abgelöst werden.

9.7.2 Injektionssysteme mit europäischer technischer Zulassung

9.7.2.1 Allgemeines

Die „Leitlinie für die europäische technische Zulassung für Metall-Injektionsdübel zur Verankerung im Mauerwerk“ – ETAG 029 [54] wurde im Juni 2010 veröffentlicht.

Die Beurteilung der Eignung und Verwendung der Injektionsmörtel in ETAG 029 beruht im Wesentlichen auf den in ETAG 001, Teil 5 [52] festgelegten Kriterien für Verbunddübel zur Verankerung in Beton und regelt die Zulassungsversuche und die Bemessung von Metall-Injektionsdübel in Mauerwerk aus Steinen nach DIN EN 771-1 bis 5.

Für den Verankerungsgrund wurden die Erkenntnisse aus ETAG 020 [53] zur Bestimmung der Eignung und der zulässigen Anwendungsbedingungen von Kunststoffdübeln in Mauerwerk herangezogen. Im Gegensatz zu Kunststoffdübeln (Kapitel 9.6) dürfen Metall-Injektionsdübel zur Verankerung in Mauerwerk auch als Einzelbefestigungen ausgeführt werden. Danach darf die gesamte Last über einen einzelnen Dübel in den Verankerungsgrund eingeleitet werden.

Folgende Mindestanforderungen müssen nach ETAG 029 immer erfüllt sein:

- Der Gewindedurchmesser des Dübels muss mindestens 6 mm betragen.
- Die Verankerungstiefe muss mindestens 50 mm betragen.
- Das Mauerwerk muss mindestens 100 mm stark sein.

9.7.2.2 Anwendungsbereich

Die Einteilung der Verankerungsgründe nach ETAG 029 erfolgt für Metall-Injektionsdübel zur Verankerung im Mauerwerk wie für Kunststoffdübel nach ETAG 020 in Nutzungskategorien (vgl. Kapitel 9.6.3.2):

- Nutzungskategorie „b“: Mauerwerk aus Vollsteinen mit höchstens 15 % Lochanteil des Steinquerschnitts (Vollziegel, Kalksandvollsteine und Vollsteine aus Beton)
- Nutzungskategorie „c“: Mauerwerk aus Hohl- oder Lochsteinen (Hochlochziegel, Kalksandlochsteine und -blöcke und Hohlblocksteine aus Beton)
- Nutzungskategorie „d“: Dampfgehärteter Porenbeton der Festigkeitsklassen P2 bis P7 nach DIN EN 771-4 „Porenbetonsteine“ [33] und DIN EN 12602 „Vorgefertigte bewehrte Bauteile aus dampfgehärtetem Porenbeton“ [26]

Es ist nicht erforderlich, dass ein Metall-Injektionsdübel zur Verankerung in allen Nutzungskategorien geprüft und zugelassen werden muss. Die Nutzungskategorie „c“ deckt automatisch auch die Nutzungskategorie „b“ abdeckt.

Der Mörtel des Mauerwerks muss mindestens der Druckfestigkeitsklasse M2,5 gemäß DIN EN 998-2 [34] entsprechen.

ETAG 029 unterscheidet zusätzlich noch in Nutzungskategorien in Bezug auf die Montage und Verwendung der Dübel (d = dry = trocken; w = wet = nass):

- Nutzungskategorie d/d: Montage und Verwendung in Bauteilen in trockenen Innenräumen
- Nutzungskategorie w/d: Montage in nassem Mauerwerk und Verwendung in Bauteilen in trockenen Innenräumen
- Nutzungskategorie w/w: Montage und Verwendung in Bauteilen unter anderen Umweltbedingungen (z. B. nass)

Die Nutzungskategorie w/w erfasst auch die Nutzungskategorie w/d.

Wie für ETAG 020 (vgl. Kapitel 9.6.3.3) werden auch in ETAG 029 unterschiedliche Temperaturbereiche definiert, die im Rahmen der Zulassungsverfahren zu prüfen sind und entsprechend in den europäischen technischen Zulassungen (ETAs) angegeben werden.

Die in den Zulassungsbescheiden angegebenen charakteristischen Werte sind wie bei Kunststoffdübeln nach ETAG 020 ausschließlich für die dort angegebenen Steine gültig (Kapitel 9.6.3.2 und 9.6.3.5). Die Zulassungsbescheide enthalten ebenfalls die einzuhaltenden minimalen Rand- und Achsabstände, die sich abhängig vom Steintyp unterscheiden können. Liegen andere Steine vor als im Zulassungsbescheid ausgewiesen, kann der Wert der charakteristischen Tragfähigkeit unter bestimmten Voraussetzungen durch Versuche am Bauwerk ermittelt werden (siehe Kapitel 9.7.2.3).

Das Bemessungsverfahren nach ETAG 029 erfasst Zug-, Quer- und Schrägzuglasten sowie Biegebeanspruchungen. Dies bedeutet, dass im Gegensatz zu den abZ keine zulässigen Lasten mehr direkt aus der Zulassung abgelesen werden können (siehe Kapitel 9.7.1). Die Bemessung erfolgt hier analog dem in Kapitel 9.6.3.4 beschriebenen Vorgehen bei Kunststoffdübeln.

Die auf die Injektionsdübel und das Bauteil, in dem die Dübel verankert sind, einwirkenden Lasten müssen statisch oder quasi-statisch (vorwiegend ruhend) sein. Druckbeanspruchungen sowie seismische, ermüdungsrelevante und stoßartige Beanspruchungen sind nicht geregelt.

Für Mauerwerk mit unvermörtelten Stoßfugen und für verputztes Mauerwerk, bei dem die Fugen nicht sichtbar sind, ist bei beiden Bemessungsverfahren eine Abminderung der charakteristischen Widerstände auf in der Regel 75 % erforderlich. Weiterhin ist nachzuweisen, dass der als Ankergrund dienende Stein nicht durch die wirkenden Zuglasten aus dem Mauerwerksverband herausgezogen werden kann. Die Nachweise können nach ETAG 029, Anhang C erfolgen oder sind in den jeweiligen Zulassungsbescheiden angegeben.

9.7.2.3 Bestimmung der charakteristischen Tragfähigkeit durch Versuche am Bauwerk

9.7.2.3.1 Allgemeines

Für Versuche am Bauwerk mit Metall-Injektionsdübeln zur Verankerung in Mauerwerk gelten im Prinzip die gleichen Voraussetzungen und Anforderungen wie für Kunststoffdübel nach ETAG 020 (siehe hierfür Kapitel 9.6.3.5): Die grundsätzliche Eignung des Dübels muss im Rahmen des Zulassungsverfahrens in der jeweiligen Nutzungskategorie und Steinart nachgewiesen worden sein. Hierfür werden in der ETA charakteristische Tragfähigkeiten angegeben. Bei Vollsteinen gelten diese Tragfähigkeiten auch für größere Steinformate und größere Druckfestigkeiten. Ansonsten sind bei Abweichungen bezüglich Steinformat, Druckfestigkeit, Rohdichte und/oder Lochbild gegenüber dem geprüften und in der ETA ausgewiesenen Stein immer Versuche am Bauwerk durchzuführen.

Für die Ermittlung der charakteristischen Tragfähigkeit durch Versuche am Bauwerk bietet der Anhang B zu Leitlinie ETAG 029 zwei Möglichkeiten:

- Auszugversuche mit $n \geq 15$ Dübeln oder $5 \leq n < 15$ Dübeln (Ermittlung F_{Rk1} siehe Kapitel 9.7.2.3.3)
- Probelastungen mit $n \geq 15$ Dübeln (Ermittlung F_{Rk2} siehe Kapitel 9.7.2.3.4)

Die so ermittelte charakteristische Tragfähigkeit F_{Rk1} oder F_{Rk2} muss gleich oder kleiner als die charakteristische Tragfähigkeit F_{Rk} sein, die in der ETA für die gleiche Mauerwerksart (Steine oder Blöcke) angegeben ist. Der Bemessungswert ergibt sich dann wieder wie für Kunststoffdübel nach ETAG 020, indem die charakteristische Tragfähigkeit durch den Sicherheitsbeiwert $\gamma_{Mm} = 2,5$ (Deutschland) dividiert wird (vgl. Kapitel 9.6.3.5).

9.7.2.3.2 Montage

Der zu prüfende Metall-Injektionsdübel sollte in der gleichen Weise eingebaut werden (z. B. Vorbereitung des Bohrlochs, zu verwendende Bohrmaschine, Bohrer, Bohrverfahren Hammerbohren oder Drehbohren, Dicke des Anbauteils) und hinsichtlich der Achs- und Randabstände so angeordnet sein, wie es für den Verwendungszweck vorgesehen ist. In Abhängigkeit von der Bohrmaschine sollten Hartmetallbohrer gemäß ISO 5468 [65] für Bohrhämmer bzw. für Schlagbohrmaschinen verwendet werden. Die Bohrlochreinigung sollte nach der Montageanleitung des Herstellers mit den entsprechenden Werkzeugen erfolgen.

9.7.2.3.3 Auszugversuche

Die charakteristische Tragfähigkeit F_{Rk1} wird aus den Versuchslasten N_1 wie folgt ermittelt:

$F_{Rk1} = 0,5 \cdot N_1 \leq F_{Rk,ETA}$	(Gl. 9.12)
N_1	Mittelwert der 5 minimal gemessenen Lasten von 15 Versuchen
$F_{Rk,ETA}$	Charakteristischer Widerstand F_{Rk} nach ETA für die gleiche Steinkategorie

Werden weniger als 15 Versuche (mindestens aber 5 Versuche) durchgeführt, muss die charakteristische Tragfähigkeit über eine Berechnung der zugehörigen 5 % Fraktile erfolgen:

$F_{Rk1} = N_{Rm} (1 - k \cdot v) \cdot \beta \leq F_{Rk,ETA}$	(Gl. 9.13)
N_{Rm}	Mittelwert der Höchstlasten in den durchgeführten Versuchen
v	Variationskoeffizient der Höchstlasten
β	Faktor zur Berücksichtigung produktspezifischer Einflüsse, der in der Regel in der ETA angegeben wird
k	Statistischer Wert zur Ermittlung der Fraktile = 3,4 für 5 Versuche = 2,57 für 10 Versuche

9.7.2.3.4 Probelastung

Probelastungen sind vor allem in Lochsteinen vorzuziehen, da in Lochsteinen damit zu rechnen ist, dass Injektionsdübel durch einen Steinausbruch versagen (große Beschädigungen in der Mauerwerkswand). Die Last sollte stufenweise bis zum Erreichen von N_p erhöht werden:

$N_p \geq 0,8 \cdot N_{sd} \cdot \gamma_M \cdot 1 / \beta$	(Gl. 9.14)
N_p	Last N_p für die Probelastung
N_{sd}	Bemessungswert der Einwirkung ($N_{Sk} \cdot \gamma_F$)
γ_M	Materialteilsicherheitsbeiwert ($\gamma_M = 2,5$)
β	Faktor zur Berücksichtigung produktspezifischer Einflüsse, der in der Regel in der ETA angegeben wird

Gibt es bei der Belastung keine sichtbare Verschiebung des Injektionsdübels, kann die charakteristische Tragfähigkeit F_{Rk2} wie folgt bestimmt werden:

$F_{Rk2} = 1 / 0,8 \cdot N_p \cdot \beta \leq F_{Rk,ETA}$	(Gl. 9.15)
N_p und β	Siehe Gleichung 9.14
$F_{Rk,ETA}$	Charakteristischer Widerstand F_{Rk} nach ETA für die gleiche Steinkategorie

9.7.2.3.5 Prüfbericht

Der Prüfbericht muss mindestens folgende Informationen beinhalten:

- Name des Produkts
- Bezeichnung der Baustelle
- Eigentümer des Bauwerks
- Datum und Ort der Prüfungen
- Art der Versuchseinrichtung
- Art der zu befestigenden Konstruktion
- Art und Material des Mauerwerks
- Beschreibung der Verbunddübel
- Bohrschneideneckmaß
- Reinigung des Bohrlochs
- Ergebnisse der Versuche mit N_1 oder N_p , Versagensart
- Überwachende Person und deren Unterschrift

Die hier geforderten Angaben sind ebenso für die Versuche am Bauwerk mit Kunststoffdübeln gültig, auch wenn diese ggf. nicht explizit genannt werden. Grundsätzlich sollte die Dokumentation so ausführlich wie möglich sein und auch Bilder enthalten. Nur so ist eine ausreichende Beurteilung der Versuche am Bauwerk möglich.

9.8 Ermüdungsrelevante (dynamische) Einwirkungen

Nicht jede sich ändernde Last ist auch ermüdungsrelevant. Wie häufig eine Last auf eine Verankerung aufgebracht werden darf, damit sie ermüdungsrelevant ist, ist nicht pauschal bestimmbar, da der Übergang von der ruhenden zur nichtruhenden Beanspruchung gleitend verläuft. Einwirkungen aus rotierenden Maschinen, aus Fahrzeugen, aus Aufzugbetrieb oder aus einem Kranbahnbetrieb sind durchaus ermüdungsrelevant einzustufen, während eine Fassadenbefahranlage, die bei Wind nicht benutzt werden darf, oder eine Beleuchtungsanlage, die zweimal pro Woche herabgelassen wird, um Leuchtmittel zu ersetzen, in den Bereich der vorwiegend ruhenden Einwirkungen einzustufen sind.

Da Dübel grundsätzlich empfindlich auf ermüdungsrelevante Querlasten reagieren, ist im Zweifelsfall immer ein Nachweis der Materialermüdung zu führen. Dringender Handlungsbedarf besteht im Bereich des Anlagenbaus [7]. Hier treten hohe vorwiegend ruhende und zusätzliche ermüdungsrelevante Einwirkungen auf. Die Befestigungen sind im Regelfall nur für vorwiegend ruhende Einwirkungen ausgelegt. Im Zweifelsfall sind die im DIBt „Leitfaden für Dübelbefestigungen in Kernkraftwerken und anderen kerntechnischen Anlagen“ [20] genannten Regelungen heranzuziehen. Dort steht in Abschnitt 2.2:

„Entsprechend DIN 25449 werden folgende drei Anforderungskategorien unterschieden, deren Einwirkungskombinationen für die Anforderungskategorien A1, A2 und A3 im Sinne von DIN 1055-100 und DIN 1045-1

als vorwiegend ruhend betrachtet werden können, wenn die Anzahl der Schwingspiele (vollständige Lastzyklen) bei Zugbeanspruchung unter 10^4 und bei Querbeanspruchung unter 10^2 liegt.“

Bei Querlasten kann eine Grenze von 10^3 empfohlen werden, wenn es sich um Hülsendübel handelt, deren die Ankerstange umgebende Hülse deutlich in das Anbauteil hineinragt. In diesem Fall wird die Ankerstange von der Hülse geschützt.

Das Denken in sonst üblichen Lastfällen, bei denen nur die maximalen Einwirkungen bestimmt werden, ist hier nicht ausreichend. Vielmehr ist es notwendig, die Lastgeschichte genau zu verfolgen, um die größten Schwingbreiten während der Lebenszeit des zu entwerfenden Bauteils zu bestimmen. Hierbei erhält man oft unerwartete Ergebnisse, wie die scheinbar banalen Beispiele in Tabelle 9.8 zeigen.

Für den Ermüdungsnachweis existiert immer nur ein Lastfall, bei dem sämtliche Beanspruchungen, die ein Dübel im Laufe einer Nutzungszeit erfährt, berücksichtigt werden müssen. Fehler beim Ermüdungsnachweis erkennt man nicht sofort, sondern die Folgen stellen sich möglicherweise erst nach vielen Jahren ein.

Die unten aufgeführten Beispiele zeigen, dass zur Berücksichtigung der Materialermüdung neben einer möglichst präzisen Bestimmung der charakteristischen Widerstände auch die Bestimmung der Einwirkungen und der Schwingbreiten mit großer Sorgfalt erfolgen muss. In den jeweiligen Regelwerken sind die Widerstände angegeben. Die entsprechende Schulung der Ingenieure muss im Rahmen der Aus- und Weiterbildung erfolgen.

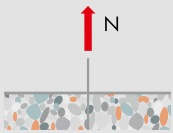
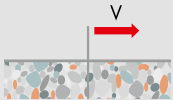
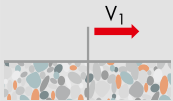
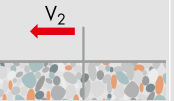
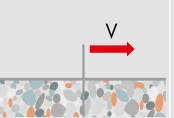
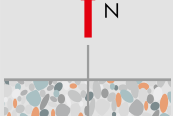
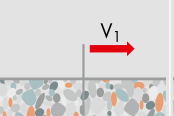
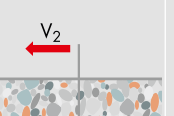
Zeitpunkt			Nachweis	
t_1	t_2	t_3	vorwiegend ruhender Lasten	der Materialermüdung
			$\max N_S = N$	$\Delta N_S = N$
			$\max V_S = V$	$\Delta V_S = V$
			LF 1: $V_{S1} = +V_1$ LF 2: $V_{S2} = -V_2$	LF 1: $\Delta V_S = V_1 + V_2 $
			LF 1: $N_S = N$ LF 2: $V_S = V$	LF 1: $\Delta N_S = N$ $\Delta V_S = V$
			LF 1: $N_S = N$ LF 2: $V_{S1} = +V_1$ LF 3: $V_{S2} = -V_2$	LF 1: $\Delta N_S = N$ $\Delta V_S = V_1 + V_2 $

Tabelle 9.8: Beispiele zum Nachweis der Materialermüdung

Für Dübel aus möglichst hochkorrosionsbeständigem Edelstahl (z. B. mit der Werkstoffnummer 1.4562), die für ermüdungsrelevante Einwirkungen geeignet sind, gibt es zahlreiche Einsatzgebiete. Für Außenanwendungen ist grundsätzlich Edelstahl A4 vorgegeben. Im Bereich von Verkehrsbauten – Brücken und Tunnelbauwerken – werden hochkorrosionsbeständige Stähle gefordert, da Tausalze auch die üblichen Edelstähle mit den Werkstoffnummern 1.4401 und 1.4571 angreifen können.

Die Kombination von Korrosion und Ermüdungsbeanspruchung ist besonders kritisch zu betrachten, da Lochkorrosion auf der Oberfläche zu einer erheblichen Spannungserhöhung führen und dadurch ein Ermüdungsversagen beschleunigen oder überhaupt erst hervorrufen kann. Durch Korrosion kann eine nach den üblichen Regeln der Bautechnik als vorwiegend ruhend einzustufende Beanspruchung doch zum Ermüdungsbruch führen.

10.1 Allgemeines

Für eine bauaufsichtlich relevante bzw. sicherheitsrelevante Verankerung in Beton können alle Dübeltypen (mechanische Metall- und Kunststoffdübel sowie chemische Dübel) eingesetzt werden. Daher sind die Bemessungsrichtlinien für die Anwendung in Beton am weitesten fortgeschritten und intensiv untersucht worden:

- Im Jahr 1983 wurde als erstes Bemessungsverfahren das sogenannte „κ-Verfahren“ mit globalen Sicherheitsbeiwerten und zulässigen Lasten für die Bemessung von Kopfbolzen und Hinterschnittdübeln eingeführt. Wenige Zeit später erfolgte die Anwendung dieses Verfahrens auch für Metallspreizdübel.
- 1993 führte das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt) das „Bemessungsverfahren für Dübel zur Verankerung in Beton“ [18] ein, das erste Bemessungskonzept für Dübel mit Teilsicherheitsbeiwerten.
- Dieses Bemessungsverfahren diente als Grundlage für den „Anhang C“ zur „Leitlinie für die europäische technische Zulassung für Metallspreizdübel zur Verankerung in Beton“ ETAG 001 [52].
- Zahlreiche Forschungsvorhaben und Untersuchungen zu Verbunddübeln führten 2007 zu einer verbesserten Bemessungsgrundlage für Verbunddübel, dem EOTA Technical Report TR 029 „Bemessung von Verbunddübeln in Beton“ [57]. Bei der Bemessung nach diesem Report können die Verankerungstiefen für Verbunddübel flexibel zwischen mindestens 4 d bzw. 40 mm und höchstens 20 d variiert werden (d = Durchmesser des Befestigungsmittels oder des Gewindes). Die Anwendungsgrenzen des jeweiligen Verbunddübels sind in der zugehörigen europäischen technischen Zulassung (ETA) festgehalten. Auch die Anwendungsbedingungen wurden deutlich erweitert, sodass höhere Lasten übertragen werden können und geringe Achs- und Randabstände möglich sind. Die Untersuchungen führten jedoch nicht nur zu einer Erweiterung der Einsatzmöglichkeiten, sondern auch zu einer besseren Ausnutzung der Verbunddübel bei gleichbleibender Sicherheit. Die wichtigsten Unterschiede zwischen ETAG 001, Anhang C und dem TR 029 werden in Kapitel 10.3.2 erläutert.

Da Mauerwerk sehr unterschiedlich sein kann, wurde in den letzten Jahren intensiv daran gearbeitet, Bemessungsrichtlinien für die Bemessung von Verankerungen in Mauerwerk zu erstellen. Für die Bemessung von Kunststoffdübeln wurde 2006 die Leitlinie ETAG 020 eingeführt, die die Verwendung und Bemessung von Kunststoffdübeln in Beton, Mauerwerk und Porenbeton als Mehrfachbefestigung (Anwendung in redundanten Systemen) regelt.

Mit der Leitlinie ETAG 029, „Metall-Injektionsdübel zur Verankerung im Mauerwerk“ und dem dazugehörigen Anhang C wurde im Jahr 2010 eine Bemessungsgrundlage verabschiedet, die es ermöglicht, solche Dübel in verschiedenen Mauerwerksarten als Einzelverankerungen zu bemessen.

Voraussetzung für die Bemessung eines Dübels, unabhängig vom Dübeltyp und der Art des Untergrunds oder der anzuwendenden Bemessungsgrundlage (EOTA, CEN – vgl. auch Kapitel 9), ist eine gültige europäische technische Zulassung. In dieser werden produktspezifische Werte angegeben, die für die Bemessung erforderlich sind. Dies sind beispielsweise die Kennwerte für:

- Widerstände (übertragbare Lasten)
- Randabstände
- Achsabstände
- Bauteildicken
- ...

Dadurch wird gewährleistet, dass die jeweiligen Produkte die Anforderungen erfüllen, die notwendig sind, um eine sichere Bemessung zu gewährleisten.

Da die für die Produktzulassungen erforderlichen Anforderungen auf das jeweilige Bemessungskonzept abgestimmt sind, dürfen die Bemessungsregelungen in keinem Fall vermischt oder kombiniert werden. Das heißt, Produkte mit Zulassungen, die als Bemessungskonzept den Anhang C nach ETAG 001 fordern, dürfen nicht

nach anderen Bemessungsregelungen bemessen werden. Daher wird das anzuwendende Bemessungsverfahren bzw. die Bemessungsregelung in der Zulassung angegeben und ist für eine Bemessung anzuwenden. Im Folgenden werden die wichtigsten Bemessungsregelungen zusammengefasst. Dabei wird auf die Bemessung von

- Metallspreizdübeln in Beton,
- Verbunddübeln in Beton,
- Kunststoffdübeln in Beton und Mauerwerk und
- Verbunddübeln in Mauerwerk

eingegangen. Zudem werden die zugehörigen Bemessungsgleichungen dargestellt. Folgende Normen und europäische Regelungen werden behandelt:

- **ETAG 001, Anhang C [52]**
Bemessungsverfahren für Metallspreizdübel in Beton in der 3. Fassung vom August 2010
- **EOTA Technical Report TR 029 [57]**
„Bemessung von Verbunddübeln“ in Beton in der Fassung vom Juni 2007 (englische Ergänzung September 2010)
- **CEN/TS 1992-4 [9]**
„Bemessung der Verankerung von Befestigungen in Beton“ in der Fassung vom August 2009
- **ETAG 020, Anhang C [53]**
Bemessungsverfahren für Kunststoffdübel als Mehrfachbefestigung von nichttragenden Systemen zur Verankerung in Beton und Mauerwerk in der Fassung vom März 2012
- **ETAG 029, Anhang C [54]**
Bemessungsverfahren für Metall-Injektionsdübel zur Verankerung im Mauerwerk in der Fassung vom Juni 2010
- **EOTA Technical Report TR 020 [55]**
„Beurteilung der Feuerwiderstandsfähigkeit von Verankerungen im Beton“ in der Fassung vom Mai 2004

Durch immer detailliertere Erkenntnisse aus Forschung und Praxis, die sich in den genannten Regelwerken widerspiegeln, und die damit verbundene höhere Ausnutzungsmöglichkeit der Dübel kann die Berechnung von Verankerungen, je nach Anwendungsfall, sehr aufwendig sein. Hierfür stellt die Firma Würth Bemessungsprogramme zur Verfügung, um für den Anwender die Bemessung einfach und sicher zu gestalten.

Um Lesern dennoch die Möglichkeit zu geben, sich ausführlicher mit der Bemessung auseinanderzusetzen, wurden die oben genannten Regelwerke (Leitlinien, Technical Reports und Norm) zusammengefasst. Die folgenden Kapitel erfüllen nicht den Anspruch auf Vollständigkeit, vielmehr sollen hier die prinzipielle Vorgehensweise und die wichtigsten Unterschiede bei der Bemessung unterschiedlicher Dübeltypen und Untergründe vorgestellt werden.

Für eine ordnungsgemäße bzw. regelkonforme Bemessung muss in jedem Fall die Leitlinie, der Technical Report und/oder die Norm im Original in der aktuellen Fassung mit herangezogen werden, da diese im Zweifelsfall immer maßgebend ist.

Nachfolgende Ausführungen zu den unterschiedlichen Regelwerken beziehen sich immer auf die aktuell gültigen, bereits veröffentlichten Papiere zum Zeitpunkt der Drucklegung dieses Handbuchs. Zum Teil werden Hinweise auf aktuelle Diskussionen in den europäischen Zulassungs- und Normengremien gegeben, auf neue Entwurfsfassungen dieser Regelwerke wird aber bewusst nicht im Detail eingegangen.

Ein kostenloser Download der aktuell gültigen Leitlinien und Technical Reports in der englischen Originalfassung ist auf der Homepage der EOTA (www.eota.eu) unter „Endorsed ETAG's“ bzw. „EOTA Technical Re-

ports“) möglich. Die deutsche Sprachfassung dieser Papiere kann auf der Internetseite des Deutschen Instituts für Bautechnik (www.dibt.de unter „Referat I2/Veröffentlichungen“ bzw. „Service → Publikationen“) heruntergeladen werden. Die CEN/TS muss in Deutschland über den Beuth Verlag (www.beuth.de) bezogen werden.

10.2 Bemessung nach dem κ -Verfahren

Das κ -Verfahren verwendet als Ausgangswert für die Bemessung die zulässige Last eines Einzeldübels mit großen Achs- und Randabständen. Die zulässige Last ist unabhängig von der Lastrichtung. Die Einflüsse verminderter Achs- und Randabstände werden durch sogenannte κ -Faktoren berücksichtigt, aus denen durch Multiplikation mit der zulässigen Last des Einzeldübels eine reduzierte zulässige Last der vorliegenden Befestigung ermittelt wird. Das κ -Verfahren ist schnell und leicht anwendbar, besitzt aber einige Nachteile. So wird z. B. die höhere Tragfähigkeit der Dübel unter Querbelastung in der Bauteilfläche bei der Berechnung der zulässigen Last nicht berücksichtigt (Bild 10.1 links). Andererseits werden die in der Regel höheren erforderlichen Randabstände unter Querbelastung für alle Belastungsrichtungen angesetzt, da bei Querbelastung mit abnehmendem Randabstand Betonkantenbruch maßgebend wird (Bild 10.1 rechts). Bei der Bemessung von exzentrisch belasteten Dübelgruppen muss für alle Dübel der Gruppe die Last des höchstbeanspruchten Dübels angesetzt werden.

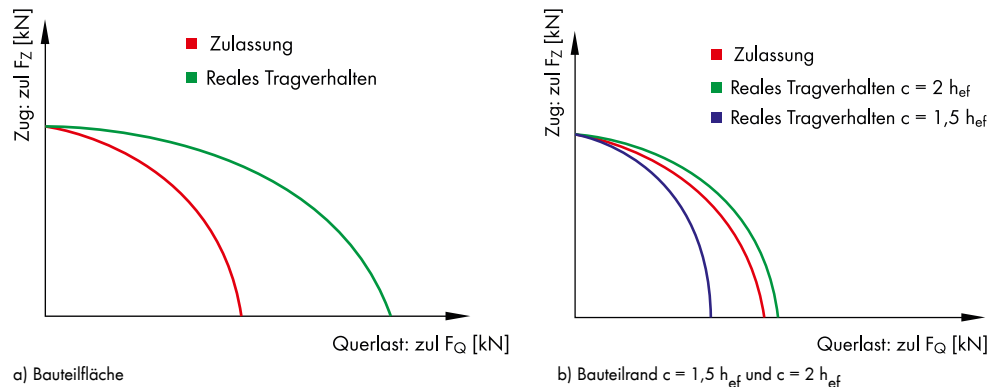


Bild 10.1: Interaktionsdiagramm für Dübel im gerissenen Beton nach Zulassung und realem Tragverhalten

Insgesamt liegt die Bemessung nach dem κ -Verfahren auf der sicheren Seite, stellt aber zum Teil erhebliche Einschränkungen für die Praxis dar [45]. Das κ -Verfahren wurde daher durch das „Bemessungsverfahren für Dübel zur Verankerung in Beton“ [18] bzw. den „Anhang C“ zur „Leitlinie für die europäische technische Zulassung für Metaldübel zur Verankerung in Beton“ ETAG 001 [52] und das darin enthaltene CC-Verfahren (CC = Concrete Capacity, vgl. [60]) abgelöst. Allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen (abZ) für Metaldübel zur Verankerung im Beton, die auf das κ -Verfahren als Bemessungsmethode verweisen, gibt es nicht mehr.

10.3 Metaldübel und Verbunddübel zur Verankerung in Beton

10.3.1 Bemessungsverfahren für Metaldübel in Beton nach ETAG 001, Anhang C

10.3.1.1 Allgemeines

Die Bemessung nach ETAG 001, Anhang C gilt für Dübel, die die im Zulassungsbescheid hinterlegten Anforderungen erfüllen und nur unter diesen Anwendungsbedingungen eingesetzt werden dürfen (vgl. Kapi-

tel 9.1.5 mit Tabelle 9.2). Versuche mit Dübeln außerhalb der in den Zulassungen genannten Anwendungsbedingungen zeigen, dass das Tragverhalten nicht mehr durch die vorhandenen Bemessungsansätze abgedeckt wird und diese auf der unsicheren Seite liegen können. Dadurch ist die Sicherheit einer Befestigung nicht mehr ausreichend gewährleistet. Die Anforderungen und Anwendungsbedingungen sind daher in jedem Fall einzuhalten. Wenn aufgrund der Anforderungen der Baupraxis davon abgewichen werden muss, so ist jeder Einzelfall besonders zu betrachten und in Deutschland über eine Zustimmung im Einzelfall zu regeln. Sollen Dübel nach ETAG 001, Anhang C bemessen werden, müssen diese daher folgende Anforderungen erfüllen: Sie müssen

- nach der europäischen technischen Leitlinie ETAG 001, Teil 1 geprüft sein und die dort geltenden Anforderungen erfüllen,
- eine europäische technische Zulassung (ETA) besitzen,
- in Normalbeton (nach DIN EN 206) C20/25 (ggf. C12/15) bis C50/60 verankert sein und
- überwiegend ruhend beansprucht werden (keine ermüdungsrelevanten Quer- und Zuglasten).

Mit Anhang C der Leitlinie ETAG 001 wird die Bemessung für mechanische Dübel wie z. B.

- Metallspreizdübel,
- Hinterschnittdübel,
- Schraubanker,
- Einschlagdübel,
- ...

geregelt. Die europäischen technischen Zulassungen schreiben das zu verwendende Bemessungsverfahren vor. Das heißt, das in der Zulassung genannte Bemessungsverfahren muss verwendet werden und kann nicht durch ein anderes ersetzt werden, da dieses auf die Prüfverfahren in der europäischen Leitlinie für diese Dübel abgestimmt ist. Eine Mischung der Berechnungsverfahren bei der Bemessung ist grundsätzlich ausgeschlossen. Weiterhin sind in der ETA die erforderlichen Eingangsparameter für die Berechnungsgleichungen angegeben, die für eine Bemessung notwendig sind. Die zulässigen Anwendungsbedingungen wie z. B.

- die geometrische Anordnung,
- die minimalen Randabstände,
- die minimalen Achsabstände,
- die minimalen Bauteildicken und
- die zulässigen Untergründe

müssen eingehalten werden, damit die Dübel bei einer ordnungsgemäßen Montage die entsprechenden Tragfähigkeiten besitzen und die Bemessung sicher ist. Dazu gehört auch, dass bei Dübelgruppen nur Dübel verwendet werden, wenn sie

- die gleiche Bauart,
- die gleiche Größe und
- die gleiche Verankerungstiefe

haben.

Außerdem wird vorausgesetzt, dass eine gleichmäßige Verteilung der einwirkenden Lasten auf die einzelnen Dübel

- durch eine ausreichend steife Ankerplatte und
- durch ein maximales Lochspiel in der Ankerplatte

gewährleistet ist.

Daher ist das in der Ankerplatte vorhandene Lochspiel begrenzt (siehe Tabelle 5.1). In besonderen Fällen können Ausnahmen gemacht werden (vgl. ETAG 001, Anhang C, 1.1), die jedoch gesonderte Überlegungen erfordern. Das Bemessungsmodell deckt alle in Bild 10.2 dargestellten Dübelanordnungen ab.

Grundsätzlich sind auch andere Anordnungen (z. B. dreieckige oder runde Anordnungen) möglich. Die Anwendung des im Folgenden beschriebenen Modells erfordert in solchen Fällen weitere ingenieurmäßige Annahmen. Dies liegt daran, dass die Verschiebung von randnahen Dübeln klein sein kann, eine Lastumlagerung nur begrenzt möglich ist und nicht alle Dübel gleich stark belastet werden. Dies muss bei einer „beliebigen“ Anordnung der Dübel berücksichtigt werden.

Anordnungen mit mehr als 4 Dübeln sind nur zulässig, wenn der Randabstand des Dübels allseitig mehr als $10 h_{ef}$ bzw. $60d$ beträgt (der größere Wert ist maßgebend, vgl. Bild 10.2), da hier davon ausgegangen werden kann, dass sich die Lasten gleichmäßig auf alle Dübel verteilen können.

Das Bemessungsmodell gilt für eine quasi-statische Belastung der Dübel, d. h., Befestigungen unter einer seismischen oder „Schock“-artigen Belastung können nicht bemessen werden. Da zunehmend Anforderungen an eine Bemessung unter Berücksichtigung seismischer oder ermüdungsrelevanter (dynamischer) Lasten gestellt werden, wurde die Bemessung für diese Belastungen mit in die Bemessungsnorm CEN/TS 1992-4 aufgenommen (siehe Kapitel 10.3.3). Nach ETAG 001, Anhang C ist für diese Arten von Einwirkungen keine Bemessung möglich. Dies gilt auch für eine Druckbelastung der Verankerung, da diese außerhalb der geprüften Anwendungsbedingungen liegt.

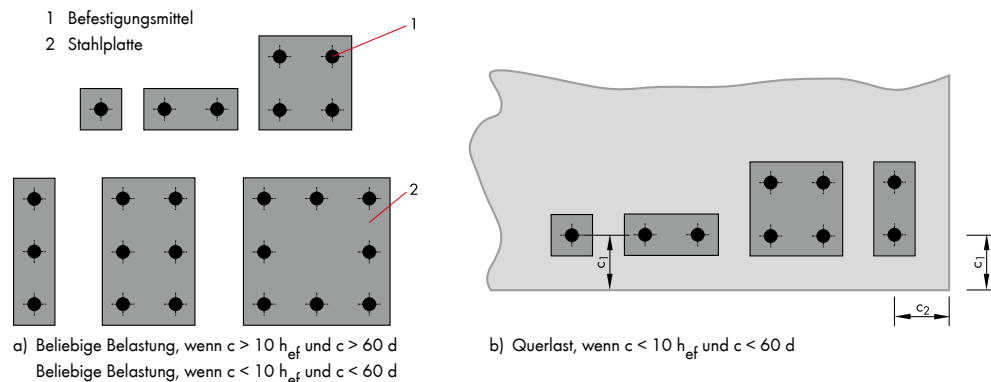


Bild 10.2: Verankerungen, die durch die Bemessungsverfahren nach ETAG 001, Anhang C abgedeckt sind

10.3.1.2 Gerissener und ungerissener Beton

Bei der Bemessung von Verankerungen ist es von Bedeutung, ob der Dübel im gerissenen oder ungerissenen Beton verankert wird (vgl. Kapitel 3.2.5). Da es Dübel gibt, die nur für ungerissenen Beton zugelassen sind, muss überprüft werden, ob diese Dübel überhaupt eingesetzt werden können. Es darf nur dann von ungerissenen Beton als Verankerungsgrund ausgegangen werden, wenn nachgewiesen werden kann, dass sich das Befestigungsmittel unter Gebrauchsbedingungen mit seiner gesamten Verankerungslänge im ungerissenen Beton befindet. Diese Bedingung ist erfüllt, wenn die folgende Gleichung erfüllt wird und die resultierende Belastung auf die Verankerung $F_{Ek} \leq 60 \text{ kN}$ ist:

$\sigma_L + \sigma_R \leq 0$		(Gl. 10.1)
σ_L	Spannungen im Beton, die durch externe Lasten einschließlich der Lasten aus dem Befestigungsmittel hervorgerufen werden	
σ_R	Spannungen im Beton, die durch innere Zwangsverformungen (z. B. Schwinden des Betons) oder durch von außen wirkende Zwangsverformungen (z. B. durch Auflagerverschiebungen oder Temperaturschwankungen) hervorgerufen werden; wird kein genauerer Nachweis geführt, sollte $\sigma_R = 3 \text{ N/mm}^2$ angenommen werden	

Die Spannungen σ_L und σ_R sind unter der Annahme zu berechnen, dass der Beton ungerissen ist (Zustand I). Bei flächigen Bauteilen, die in zwei Richtungen Lasten abtragen (z. B. Platten, Wände) ist Gleichung 10.1 für beide Tragrichtungen zu erfüllen. Wird kein Nachweis geführt, so ist in der Regel von gerissenem Beton auszugehen und es sind Dübel zu verwenden, die für gerissenen Beton zugelassen sind (ETAG 001, Option 1 bis Option 6, vgl. Kapitel 9.1.5, Tabelle 9.2).

10.3.1.3 Lasteinwirkungen auf den Dübel

Bei der statischen Berechnung der auf die Befestigung einwirkenden Lasten sind die Kräfte und Momente auf das Bauteil vorgegeben. In der Regel ergeben sich aus der statischen Berechnung eine Zugbelastung und eine Querbewegung, die ggf. exzentrisch wirken. Die berechneten und auf die Dübel einwirkenden Lasten sind unter Berücksichtigung der zugehörigen Teilsicherheitsbeiwerte für den Tragfähigkeits- bzw. Gebrauchtauglichkeitsnachweis anzusetzen. Der Teilsicherheitsbeiwert der Einwirkung ist DIN EN 1991 zu entnehmen; er kann vereinfachend mit $\gamma_F = 1,4$ angenommen werden, wenn nicht zwischen veränderlicher und ständiger Einwirkung unterschieden werden kann/soll. Die Materialteilsicherheitsbeiwerte werden in der Regel in der europäischen technischen Zulassung (ETA) für den entsprechenden Dübel angegeben; für die Ermittlung dieser Werte siehe Kapitel 10.3.1.4.

Bei einer Einzelverankerung sind die Lasten, die auf den Dübel einwirken, gleich groß wie die Lasten, die auf das Bauteil einwirken. Bei Gruppenverankerungen hingegen müssen die Lasten und Biegemomente nach der Elastizitätstheorie verteilt und berechnet werden. Das heißt, die Lasten werden statisch so verteilt, dass die Gleichgewichtsbedingungen unter Annahme eines elastischen Dübelverhaltens erfüllt sind. Dies erfordert, dass alle Dübel die gleiche Steifigkeit aufweisen und daher auch vom gleichen Typ sein müssen.

10.3.1.3.1 Zuglasten

Die auf jeden einzelnen Dübel einer Dübelgruppe wirkenden Zugkräfte, die aus an der Ankerplatte der Dübelgruppe angreifenden Lasten und Biegemomenten resultieren, sind im Allgemeinen nach der Elastizitätstheorie unter folgenden Annahmen zu berechnen:

- Die Ankerplatte ist so steif, dass sie sich unter der Bemessungslast nicht verformt.
- Alle Befestigungsmittel weisen die gleiche Steifigkeit (= E-Modul des Stahls) auf.
- Vereinfachend darf der Elastizitätsmodul des Betons zu $E_c = 30.000 \text{ N/mm}^2$ angesetzt werden.
- Die Dübel im Bereich der Druckzone der Ankerplatte nehmen keine Kräfte auf.

Werden diese Annahmen eingehalten, darf eine lineare Spannungs-Dehnungs-Beziehung aus den an der Ankerplatte angreifenden Normalkräften und Biegemomenten angenommen werden, was bedeutet, dass die Einwirkungen nach statischem Gleichgewicht verteilt werden. Die Annahme einer linearen Dehnungsverteilung gilt jedoch nur, wenn die Ankerplatte ausreichend steif ist und sich nicht wesentlich verformt. Ist dies nicht der Fall, müssen die Verformungen und die daraus resultierenden Kräfte berücksichtigt werden. Wann eine Ankerplatte als ausreichend steif angenommen werden kann, ist derzeit nicht eindeutig festgelegt. Hier sind ingenieurmäßige Annahmen zu treffen, wie z. B. eine Beschränkung der maximalen Spannung im Querschnitt der Ankerplatte.

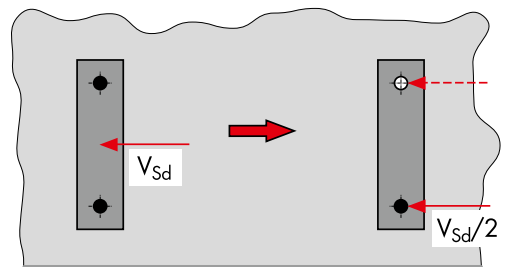
10.3.1.3.2 Querlasten

Bei der Verteilung der Querlasten müssen grundsätzlich die statischen Gleichgewichtsbedingungen erfüllt sein, wenn die Lasten auf die einzelnen Dübel verteilt werden. Das kann damit begründet werden, dass in Querbelastungsrichtung das Anbauteil in der Regel als „absolut“ steif angenommen werden kann.

Bei einer Zugbelastung hängt die Steifigkeit der Dübel nur geringfügig vom Rand- oder Achsabstand ab. Diese Annahme gilt für eine Querbelastung jedoch nicht. Daher sind in diesem Fall für Befestigungen mit Dübeln unter Querbelastung bei der Lastverteilung folgende Fälle zu unterscheiden:

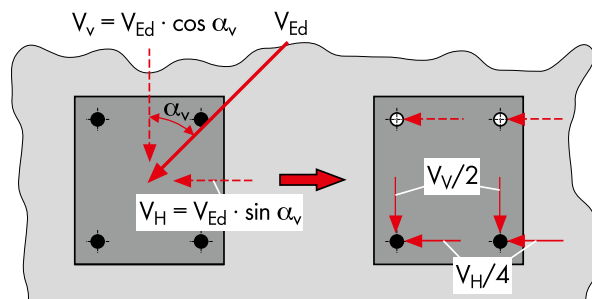
- Alle Dübel nehmen Lasten auf, wenn
 - (a) das Lochspiel kleiner oder gleich ist wie in Tabelle 5.1 angegeben und
 - (b) der Randabstand der Verankerung größer als $10 h_{ef}$ bzw. $60 d$ ist (vgl. Bild 10.2b).
- Dübel in Langlöchern in Richtung der Querbelastung nehmen keine Lasten auf.

In allen anderen Fällen ist die Tragfähigkeit der ungünstigen Dübel für die Gruppentragfähigkeit maßgebend. Die Verteilung der Lasten ist exemplarisch in den Bildern 10.3 und 10.4 dargestellt.



- ← Nicht zu berücksichtigende Last
- ← Zu berücksichtigende Last

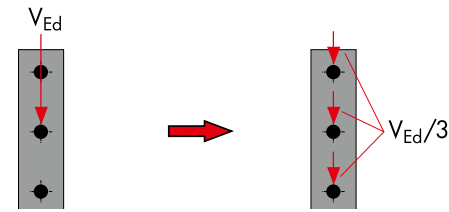
a) Gruppe von zwei Dübeln, die parallel zum Rand belastet werden



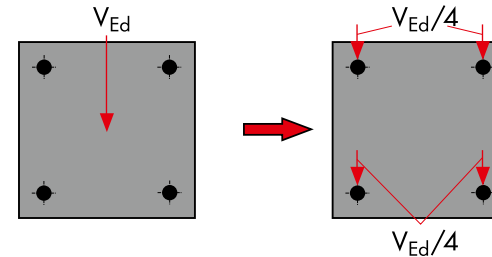
- ← Nicht zu berücksichtigende Last
- ← Zu berücksichtigende Last

b) Gruppe von vier Dübeln, die durch eine schräg einwirkende Querlast belastet werden

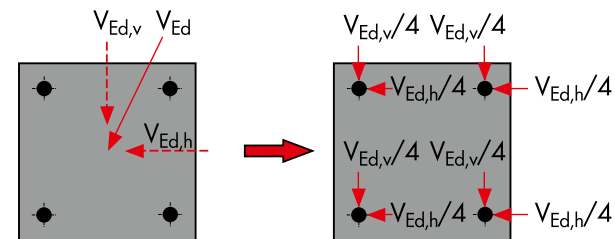
Bild 10.3: Ermittlung von Querlasten, wenn nur die ungünstigsten Dübel Lasten aufnehmen (Betonkantenbruch)



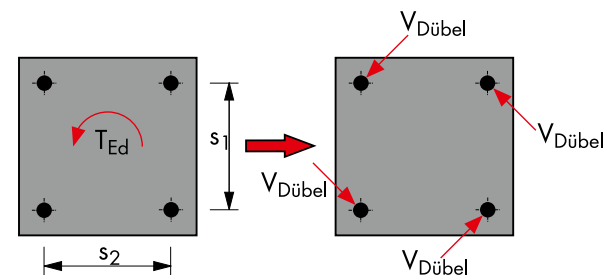
a) Gruppe von drei Dübeln unter Querlast



b) Gruppe von vier Dübeln unter Querlast



c) Gruppe von vier Dübeln unter schräg einwirkender Querlast



$$V_{\text{Dübel}} = (T_{\text{Ed}} / I_p) \cdot [(s_1 / 2)^2 + (s_2 / 2)^2]^{0,5} \text{ mit: } I_p = \text{polares Trägheitsmoment (hier: } I_p = s_1^2 + s_2^2)$$

d) Gruppe von vier Dübeln unter Torsionsmoment

Bild 10.4: Bestimmung der Querlast, wenn alle Dübel Last aufnehmen (Stahlversagen und Betonausbruch auf der lastabgewandten Seite), Beispiele (ETAG 001, Anhang C)

Die Bemessungswerte der Einwirkungen auf jeden Dübel dürfen linear elastisch verteilt werden, wenn die Steifigkeit aller Befestigungsmittel innerhalb der Gruppe gleich, d. h. zum Beispiel der Randabstand ausreichend groß ist. Aber auch hier gilt Folgendes:

- Grundsätzlich müssen die Gleichgewichtsbedingungen erfüllt sein.
- Befestigungen dürfen ohne Berücksichtigung des Hebelarms bemessen werden, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:
 - Das Anbauteil muss aus Metall sein.
(Bei einem Anbauteil aus Holz beispielsweise ergeben sich Verformungen durch die Lochleibungsspannung, was in der Regel zu einer Vergrößerung des Hebelarms führt. Zudem kann hier durch die geringe Steifigkeit die Verteilung der Lasten wesentlich beeinflusst werden.)
 - Das Anbauteil muss in der Umgebung des Befestigungsmittels ohne Zwischenlage direkt an der Betonoberfläche befestigt sein oder
 - das Anbauteil muss mit einer Mörtelausgleichsschicht (Druckfestigkeit $\geq 30 \text{ N/mm}^2$) mit einer Stärke $\leq d/2$ im Bereich der Verankerung gegen den Beton verspannt sein.
(Liegt eine Mörtelschicht von $> 3 \text{ mm}$ vor, so ergeben sich im Bereich der Mörtelschicht höhere Pressungen, die die Biegebeanspruchung vergrößern. Versuche zeigen, dass bis zu einer Mörtelschichtdicke von 3 mm bzw. $d/2$ der Stahlscherviderstand nicht beeinflusst wird. Bei höheren Mörtelschichtdicken muss davon ausgegangen werden, dass die Quertragfähigkeit der Verankerung reduziert wird.)
- Das Anbauteil berührt das Befestigungsmittel über die ganze Länge t_{fix} (In der Praxis hat sich bereits die Regelung nach CEN/TS durchgesetzt, dass das Anbauteil das Befestigungsmittel über eine Länge von mindestens $0,5 t_{\text{fix}}$ berührt, vgl. hierzu Seite 220 und 221 mit Bild 10.14).

Da auch ohne Mörtelbett der Beton vor den Dübeln abplatzen wird, ist eine Verankerung im Bruchzustand immer auch auf Biegung beansprucht. Sind die obigen Bedingungen jedoch eingehalten, so ist die Abminderung der Stahltragfähigkeit ausreichend gering und kann vernachlässigt werden. Sind die oben genannten Bedingungen nicht eingehalten, so ist für die Verankerung ein Biegenachweis zu führen.

Das Bemessungsmoment, das auf den Dübel wirkt, wird wie folgt berechnet:

$M_{\text{Ed}} = V_{\text{Ed}} \cdot l / \alpha_M$	(Gl. 10.2)
$l = a_3 + e_1$ (vgl. Kapitel 4.1, Bild 4.3)	
$a_3 = 0,5 d$ bzw. $= 0$, wenn eine Mutter/Unterlegscheibe gegen den Beton gespannt wird	
e_1 Abstand zwischen Querlast und Betonoberfläche	
d Durchmesser des Dübelbolzens oder Gewindedurchmesser	
α_M Hängt vom Einspanngrad des Befestigungsmittels auf der Anbauteilseite für die jeweilige Anwendung ab und ist ingenieurmäßig zu beurteilen	

Der Wert a_3 ergibt sich durch die oben erwähnten Abplatzungen. Diese können vermieden werden, wenn die Verankerung direkt gegen die Betonoberfläche gespannt wird.

10.3.1.4 (Material-)Teilsicherheitsbeiwerte

Wenn keine anders lautenden nationalen Regelungen bestehen, können die im Folgenden angegebenen Werte für die Teilsicherheitsfaktoren γ in Deutschland verwendet werden. Ausnahme ist der Teilsicherheitsbeiwert γ_2 . Dieser darf nicht verändert werden, da er ein im Rahmen des Zulassungsverfahrens ermittelter produktabhängiger Wert ist.

Daher sind die Werte für γ_{Mc} , γ_{Msp} und γ_{Mp} , die γ_2 beinhalten, in den europäischen technischen Zulassungsbescheiden angegeben. Sind keine Angaben gemacht und entsprechen die Verankerungen dem derzeitigen Stand der Kenntnisse, gelten folgende Regelungen:

$\gamma_{\text{Mc}} = \gamma_c \cdot \gamma_2$	(Gl. 10.3)
$\gamma_c =$ empfohlener Teilsicherheitsbeiwert für Beton $= 1,5$	
$\gamma_2 =$ Teilsicherheitsbeiwert für die Montagesicherheit eines Dübels	

Der Teilsicherheitsbeiwert γ_2 wird aus den Montageversuchen nach ETAG 001 Teil 1 bis Teil 5 abgeleitet und beträgt für zentrische Zugbelastung:

- $\gamma_2 = 1,0$ Dübel mit hoher Montagesicherheit
- $= 1,2$ Dübel mit normaler Montagesicherheit
- $= 1,4$ Dübel mit geringer Montagesicherheit

Bei Querbelaugung (Pry-out und Betonkantenbruch) spielt die Empfindlichkeit der Dübel gegen Montagetoleranzen eine untergeordnete Rolle. Daher ist hier:

$$\gamma_2 = 1,0$$

Für die Teilsicherheitsbeiwerte γ_{Msp} für die Versagensart Spalten des Betons und γ_{Mp} für die Versagensart „Herausziehen“ darf der Wert des Teilsicherheitsbeiwerts γ_{Mc} angesetzt werden. Die Teilsicherheitsbeiwerte für Stahlversagen sind in der ETA angegeben und werden nach bisherigem Kenntnisstand nach Tabelle 10.1 berechnet.

Versagensart	$f_{\text{uk}} \leq 800 \text{ N/mm}^2$ und $f_{\text{yk}} / f_{\text{uk}} \leq 0,8$	$f_{\text{uk}} > 800 \text{ N/mm}^2$	$f_{\text{yk}} / f_{\text{uk}} > 0,8$
Stahlversagen unter Querlast • Ohne Hebelarm • Mit Hebelarm	$\gamma_{\text{Ms}} = 1,0 / (f_{\text{yk}} / f_{\text{uk}}) \geq 1,25$	$\gamma_{\text{Ms}} = 1,5$	$\gamma_{\text{Ms}} = 1,5$
Stahlversagen unter Zugbelastung	$\gamma_{\text{Ms}} = 1,2 / (f_{\text{yk}} / f_{\text{uk}}) \geq 1,4$		
Betonversagen • Betonausbruch bei Zuglast • Lokaler Ausbruch bei Zuglast • Herausziehen bei Zuglast • Spalten bei Zuglast • Pry-out bei Querlast • Kantenbruch bei Querlast	$\gamma_{\text{Mc}} = 1,5$		
Montagesicherheit	Hoch	Normal	Gering
	$\gamma_2 = 1,0$	$\gamma_2 = 1,2$	$\gamma_2 = 1,4$

Tabelle 10.1: Empfohlene Teilsicherheitsbeiwerte für den Grenzzustand der Tragfähigkeit nach ETAG 001, Anhang C [52]

10.3.1.5 Ermittlung der Widerstände

10.3.1.5.1 Zugbeanspruchung

Die erforderlichen Nachweise für die Tragfähigkeit bei einer reinen Zugbeanspruchung sind in Tabelle 10.2 zusammengefasst. Je nach Versagensart sind bei Gruppenverankerungen jeweils der höchstbelastete Dübel bzw. die Gruppentragfähigkeit nachzuweisen. Dies hängt davon ab, ob sich Dübel innerhalb einer Gruppe bei der entsprechenden Versagensart ungünstig beeinflussen können.

	Einzelbefestigung	Gruppenbefestigung	
		Höchstbeanspruchtes Befestigungsmittel	Gruppenbefestigung ¹⁾
1 Stahlversagen	$N_{Ed} \leq N_{Rd,s} = N_{Rk,s} / \gamma_{Ms}$	$N_{Ed}^h \leq N_{Rd,s} = N_{Rk,s} / \gamma_{Ms}$	
2 Herausziehen	$N_{Ed} \leq N_{Rd,p} = N_{Rk,p} / \gamma_{Mp}$	$N_{Ed}^h \leq N_{Rd,p} = N_{Rk,p} / \gamma_{Mp}$	
3 Kegelförmiger Betonausbruch	$N_{Ed} \leq N_{Rd,c} = N_{Rk,c} / \gamma_{Mc}$		$N_{Ed}^g \leq N_{Rd,c} = N_{Rk,c} / \gamma_{Mc}$
4 Spalten	$N_{Ed} \leq N_{Rd,sp} = N_{Rk,sp} / \gamma_{Msp}$		$N_{Ed}^g \leq N_{Rd,sp} = N_{Rk,sp} / \gamma_{Msp}$

¹⁾ Nachweis ist nur für die zugbeanspruchten Dübel einer Gruppenbefestigung durchzuführen

Tabelle 10.2: Zugbelastung, erforderliche Nachweise

Liegen z.B. die Dübel einer Gruppe nahe beieinander, so ist die Herausziehlast jedes Dübels unabhängig von Rand- bzw. Achsabständen.

Im Folgenden werden die Berechnungsgleichungen für die nachzuweisenden Versagensarten dargestellt.

10.3.1.5.1.1 Stahlversagen

Der charakteristische Widerstand $N_{Rk,s}$ für Stahlversagen ist in der europäischen technischen Zulassung des Dübels angegeben und wird aus Versuchen abgeleitet. Auf der sicheren Seite können die Lasten wie folgt berechnet werden:

$N_{Rk,s} = A_s \cdot f_{uk}$	[N]	(Gl. 10.4)
f_{uk} Charakteristische Zugfestigkeit des Stahls (Nennwert)	[N/mm ²]	
A_s Maßgebender, tatsächlicher Spannungsquerschnitt der Verankerung	[mm ²]	

Maßgebend wird der über die Länge geringste Querschnitt (A_s). Für metrische Gewinde (wie z.B. bei Verbunddübeln) kann dieser aus entsprechenden Tabellenbüchern entnommen werden. Bei Metallspreizdübeln des Bolzensystems kann der Querschnitt im „Dübelhals“, der normalerweise über dem der Spreizclip angeordnet ist, maßgebend werden. Für solche Dübel müssen die charakteristischen Werte für Stahlversagen aus der Zulassung entnommen werden.

10.3.1.5.1.2 Herausziehen

Der charakteristische Widerstand $N_{Rk,p}$ von Dübeln bei der Versagensart Herausziehen ist produktspezifisch und wird bisher in den Zulassungsversuchen ermittelt. Die Tragfähigkeit hängt maßgeblich von der Reibung zwischen Verankerungselement und Bohrlochwandung ab. Der Reibungskoeffizient wird von sehr vielen Pa-

rametern beeinflusst (Bohrereckmaß, Beton, Art des Bohrers, Bohrgeschwindigkeit, Art des Stahls, Feuchte, Beschichtung, ...). Daher kann die Reibung zwischen Verankerung und Beton für eine Berechnung nicht ausreichend sicher bestimmt werden und muss durch Versuche ermittelt werden.

10.3.1.5.1.3 Betonausbruch

Bei dieser Versagensart wird davon ausgegangen, dass der Untergrund Beton durch das Überschreiten der Betonzugfestigkeit versagt. Der charakteristische Widerstand eines Befestigungsmittels, einer Gruppenbefestigung und der zugbeanspruchten Befestigungsmittel einer Gruppenbefestigung bei Versagen infolge Betonausbruchs kann mithilfe des CC-Verfahrens (vgl. Kapitel 10.2) berechnet werden. Durch die Lasteinleitung im Betoninneren stellt sich ein mehr oder weniger (vom Rand- und Achsabstand abhängig) rotationssymmetrischer Spannungszustand ein. Dieser bewirkt im Spreizbereich eine Rissbildung, die zu einem kegelförmigen Rissverlauf und dem dafür charakteristischen Ausbruchkegel führt. Die Berechnung dieses Versagens ist in der folgenden Tabelle dargestellt.

Grundgleichung	$N_{Rk,c} = N_{Rk,c}^0 \cdot (A_{c,N} / A_{c,N}^0) \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{ec,N}$	[N]	(Gl. 10.5)
Ausgangswert	$N_{Rk,c}^0 = k_1 \cdot \sqrt{f_{ck,cube}} \cdot h_{ef}^{1,5}$	[N]	(Gl. 10.6)
k_1	Faktor zur Berücksichtigung des Zustands des Untergrunds nach europäischer technischer Zulassung. Nach bisheriger Erfahrung beträgt der Wert = 7,2 für gerissenen Beton = 10,1 für ungerissenen Beton		
$f_{ck,cube}$	Charakteristische Würfeldruckfestigkeit der Betondruckfestigkeitsklasse unter Berücksichtigung der Grenzen nach europäischer technischer Zulassung [N/mm ²]		
h_{ef}	Effektive Verankerungstiefe nach europäischer technischer Zulassung [mm]		
$A_{c,N}^0$	Bezugswert der projizierten Fläche (= $s_{cr,N} \cdot s_{cr,N}$)		
$A_{c,N}$	Vorhandene projizierte Fläche, begrenzt durch die Überschneidung der Betonausbruchkörper benachbarter Befestigungsmittel ($s \leq s_{cr,N}$) sowie durch Bauteilränder ($c \leq c_{cr,N}$); $s_{cr,N}$ und $c_{cr,N}$ sind der entsprechenden europäischen technischen Zulassung zu entnehmen; für einen Dübel, der den vorliegenden Erfahrungen entspricht, ist $s_{cr,N} = 2 \cdot c_{cr,N} = 3 \cdot h_{ef}$ anzunehmen.		

Tabelle 10.3/1: Bemessung für Betonausbruch nach ETAG 001, Anhang C [52]

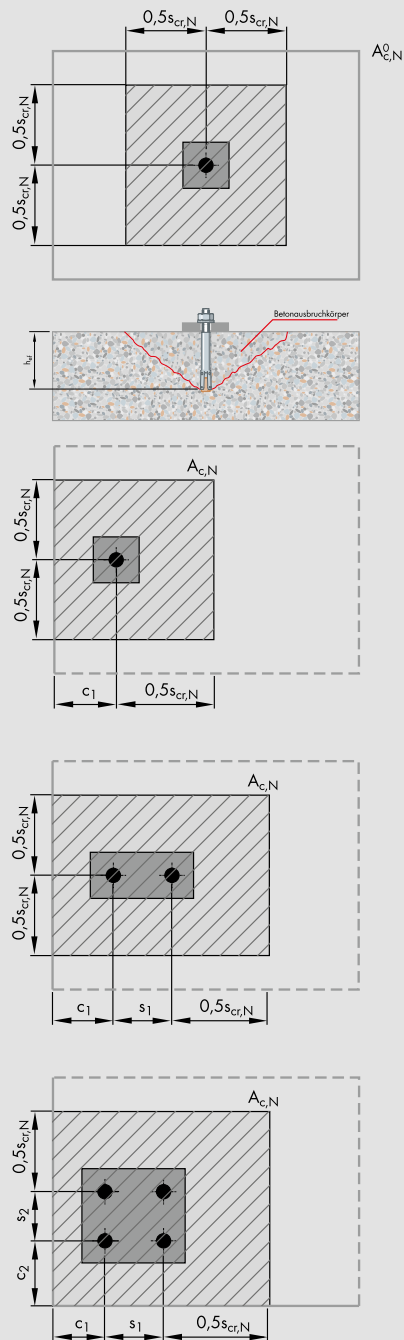


Tabelle 10.3/2: Bemessung für Betonausbruch nach ETAG 001, Anhang C [52]

$\psi_{s,N}$	Berücksichtigt die Störung des rotationssymmetrischen Spannungszustands im Beton durch Bauteilränder; bei Befestigungen mit mehreren Bauteilrändern ist der kleinste Randabstand c zu verwenden $\psi_{s,N} = 0,7 + 0,3 \cdot (c / c_{cr,N}) \leq 1$	[-] (Gl. 10.7)
$\psi_{re,N}$	Berücksichtigt den Einfluss einer dichten Bewehrung für Verankerungstiefen $h_{ef} < 100$ mm: $\psi_{re,N} = 0,5 + (h_{ef} / 200) \leq 1$ $\psi_{re,N} = 1,0$ wenn die Bewehrung mit einem Achsabstand ≥ 150 mm angeordnet ist oder die Bewehrung mit einem Durchmesser von maximal 10 mm einen Achsabstand ≥ 100 mm aufweist	[-] (Gl. 10.8)
$\psi_{ec,N}$	Berücksichtigt den Einfluss der Lastexzentrizität, wenn unterschiedliche Zuglasten auf die einzelnen Befestigungsmittel einer Gruppenbefestigung wirken $\psi_{ec,N} = 1 / (1 + 2 \cdot e_N / s_{cr,N}) \leq 1$ e_N = Exzentrizität der resultierenden Zugkraft der zugbeanspruchten Dübel. In den Fällen, in denen eine Exzentrizität in zwei Richtungen vorliegt, sollte $\psi_{ec,N}$ für jede Richtung getrennt ermittelt und das Produkt beider Faktoren in Gleichung 10.5 eingesetzt werden.	[-] (Gl. 10.9)

Tabelle 10.3/3: Bemessung für Betonausbruch nach ETAG 001, Anhang C [52]

Für Verankerungen in Bauteilen mit 3 oder mehr Bauteilrändern mit einem Randabstand $c_{max} \leq c_{cr,N}$ (c_{max} = größter Randabstand) liegen die nach Tabelle 10.3 berechneten Tragfähigkeiten auf der sicheren Seite. Genauere Ergebnisse können erzielt werden, wenn in Gleichung 10.6 die Verankerungstiefe (h_{ef}) durch eine virtuelle Verankerungstiefe $h'_{ef} = (c_{max} / c_{cr,N}) \cdot h_{ef}$ oder $h'_{ef} = (s_{max} / s_{cr,N}) \cdot h_{ef}$ ersetzt wird (der größere Wert h'_{ef} ist maßgebend).

Bei der Ermittlung von $A_{c,N}^0$ und $A_{c,N}$ und in den Gleichungen 10.7 und 10.9 sind dann entsprechend $s_{cr,N}$ und $c_{cr,N}$ durch $s'_{cr,N} = (h'_{ef} / h_{ef}) \cdot s_{cr,N}$ und $c'_{cr,N} = (h'_{ef} / h_{ef}) \cdot c_{cr,N}$ zu ersetzen (vgl. auch Kapitel 10.3.3.5.1.6).

10.3.1.5.1.4 Spalten

Die Versagensart Spalten kann sowohl bei der Montage der Dübel als auch bei der Belastung der Dübel auftreten. Spalten bei der Montage wird ausgeschlossen, wenn die in den europäischen technischen Zulassungen angegebenen Werte für c_{min} , s_{min} und h_{min} sowie für T_{inst} eingehalten werden. Trotz Einhaltung dieser minimalen Abstände kann es bei der Belastung der Verankerung zu einem Abspalten des Bauteils kommen, da die Spaltkräfte mit zunehmender Belastung ansteigen; je nach Dübeltyp können diese doppelt so groß werden wie die aufgetragenen Zuglasten.

Der Nachweis für diese Versagensart erfolgt analog der Vorgehensweise für Betonausbruch (vgl. Tabelle 10.3). Der einzige Unterschied ist, dass in die entsprechenden Gleichungen nicht die kritischen Abstände $s_{cr,N}$ und $c_{cr,N}$ für Betonausbruch, sondern die kritischen Abstände $s_{cr,sp}$ und $c_{cr,sp}$ für Spalten eingesetzt werden. Die Werte für $s_{cr,sp}$ und $c_{cr,sp}$ werden in der jeweiligen ETA angegeben.

- Man kann davon ausgehen, dass ein Versagen durch Spalten nicht auftritt, wenn der Randabstand in allen Richtungen $c \geq 1,2 \cdot c_{cr,sp}$ und die Bauteildicke $h \geq 2 \cdot h_{ef}$ beträgt.

- Für Dübel, die zur Verwendung in gerissenem Beton geeignet sind, darf die Berechnung des charakteristischen Widerstands für die Versagensart Spalten des Betons entfallen, wenn die beiden folgenden Bedingungen erfüllt sind:
 - Es ist eine Bewehrung vorhanden, die die Rissbreite unter Berücksichtigung der Spaltkräfte auf $w_k \leq 0,3$ mm begrenzt.
 - Der charakteristische Widerstand für Betonausbruch und Herausziehen wird für gerissenen Beton berechnet.

Sind die zuvor genannten Bedingungen a) oder b) nicht erfüllt, so ist der charakteristische Widerstand eines Einzeldübel oder einer Dübelgruppe für die Versagensart Spalten des Betons nach Gleichung (10.10) bzw. Tabelle 10.4 zu berechnen.

Grundgleichung	$N_{Rk,sp} = N_{Rk,c}^0 \cdot (A_{c,N} / A_{c,N}^0) \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{ec,N} \cdot \psi_{h,sp}$	[N] (Gl. 10.10)
Ausgangswert	$N_{Rk,c}^0 = k_1 \cdot \sqrt{f_{ck,cube}} \cdot h_{ef}^{1,5}$	[N] (Gl. 10.11)
k_1	Faktor zur Berücksichtigung des Zustands des Untergrunds nach europäischer technischer Zulassung; nach bisheriger Erfahrung beträgt der Wert = 7,2 für gerissenen Beton = 10,1 für ungerissenen Beton	
$f_{ck,cube}$	Charakteristische Würfeldruckfestigkeit der Betondruckfestigkeitsklasse unter Berücksichtigung der Grenzen nach europäischer technischer Zulassung	[N/mm ²]
h_{ef}	Effektive Verankerungstiefe nach europäischer technischer Zulassung	[mm]
$A_{c,N}^0$	Bezugswert der projizierten Fläche (= $s_{cr,sp} \cdot s_{cr,sp}$)	
$A_{c,N}$	Vorhandene projizierte Fläche, begrenzt durch die Überschneidung der Betonausbruchkörper benachbarter Befestigungsmittel ($s \leq s_{cr,sp}$) sowie durch Bauteilränder ($c \leq c_{cr,sp}$); $s_{cr,sp}$, $c_{cr,sp}$ sind aus der entsprechenden europäisch technischen Zulassung zu entnehmen	
$\psi_{s,N}$	Berücksichtigt die Störung des rotationssymmetrischen Spannungszustands im Beton durch Bauteilränder; bei Befestigungen mit mehreren Bauteilrändern ist der kleinste Randabstand c zu verwenden $\psi_{s,N} = 0,7 + 0,3 \cdot (c / c_{cr,sp}) \leq 1$	[-] (Gl. 10.12)
$\psi_{re,N}$	Berücksichtigt den Einfluss einer dichten Bewehrung für Verankerungstiefen $h_{ef} < 100$ mm: $\psi_{re,N} = 0,5 + (h_{ef} / 200) \leq 1$ $\psi_{re,N} = 1,0$ wenn die Bewehrung mit einem Achsabstand ≥ 150 mm angeordnet ist oder die Bewehrung mit einem Durchmesser von maximal 10 mm einen Achsabstand ≥ 100 mm aufweist	[-] (Gl. 10.13)

Tabelle 10.4/1: Bemessung für Spalten nach ETAG 001, Anhang C [52]

$\psi_{ec,N}$	Berücksichtigt den Einfluss der Lastexzentrizität, wenn unterschiedliche Zuglasten auf die einzelnen Befestigungsmittel einer Gruppenbefestigung wirken $\psi_{ec,N} = 1 / (1 + 2 \cdot e_N / s_{cr,sp}) \leq 1$ e_N = Exzentrizität der resultierenden Zugkraft der zugbeanspruchten Dübel. In den Fällen, in denen eine Exzentrizität in zwei Richtungen vorliegt, sollte $\psi_{ec,N}$ für jede Richtung getrennt ermittelt und das Produkt beider Faktoren in die Gleichung eingesetzt werden.	[-] (Gl. 10.14)
$\psi_{h,sp}$	Berücksichtigt den Einfluss der Bauteildicke auf die Tragfähigkeit bei Spaltversagen $\psi_{h,sp} = (h / h_{min})^{2/3} \leq 1,5$	[-] (Gl. 10.15)

Tabelle 10.4/2: Bemessung für Spalten nach ETAG 001, Anhang C [52]

10.3.1.5.2 Querbeanspruchung

Die erforderlichen Nachweise für die Tragfähigkeit bei einer reinen Querbeanspruchung sind in Tabelle 10.5 zusammengefasst. In der Regel sind für Einzelverankerungen alle Nachweise zu führen. Für Gruppenverankerungen muss für Stahlversagen (mit und ohne Hebelarm) nur der höchstbelastete Dübel nachgewiesen werden, da für Stahlversagen davon ausgegangen wird, dass die Lasten sich ausreichend auf alle Dübel umlagern können. Für Betonkantenbruch und rückwärtiger Betonausbruch muss der Nachweis für die gesamte Gruppe erfolgen, da die Dübel eventuell nicht gleichmäßig belastet werden.

	Einzelbefestigung	Gruppenbefestigung	
		Höchstbeanspruchtes Befestigungsmittel	Gruppe
Stahlversagen ohne Hebelarm	$V_{Ed} \leq V_{Rd,s} = V_{Rk,s} / \gamma_{Ms}$	$V_{Ed}^h \leq V_{Rd,s} = V_{Rk,s} / \gamma_{Ms}$	
Stahlversagen mit Hebelarm	$V_{Ed} \leq V_{Rd,s} = V_{Rk,s} / \gamma_{Ms}$	$V_{Ed} \leq V_{Rd,s} = V_{Rk,s} / \gamma_{Ms}$	
Betonkantenbruch	$V_{Ed} \leq V_{Rd,c} = V_{Rk,c} / \gamma_{Mc}$		$V_{Ed}^g \leq V_{Rd,c} = V_{Rk,c} / \gamma_{Mc}$
Rückwärtiger Betonausbruch	$V_{Ed} \leq V_{Rd,cp} = V_{Rk,cp} / \gamma_{Mc}$		$V_{Ed}^g \leq V_{Rd,cp} = V_{Rk,cp} / \gamma_{Mc}$

Tabelle 10.5: Zusammenstellung der erforderlichen Nachweise bei Querbelastung

10.3.1.5.2.1 Stahlversagen

Für die Versagensart Stahlbruch ist zwischen Einwirkungen mit und ohne Hebelarm zu unterscheiden. Grundsätzlich kann bei einer Querbelastung davon ausgegangen werden, dass die Verankerung bzw. der Dübel immer einen Biegeanteil aufnimmt, da der Beton vor dem Dübel abplatzt. Verankerungen ohne Hebelarm sind damit Verankerungen, bei denen dieser Biegeanteil für die Tragfähigkeit vernachlässigbar ist. Die Tragfähig-

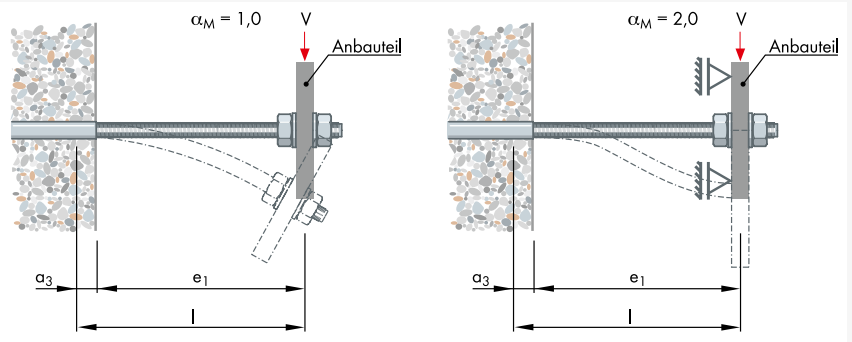
keit einer Verankerung ohne Hebelarm, d. h. der charakteristische Widerstand $V_{Rk,s}$ für Stahlversagen, ist in fast allen Fällen in der europäischen technischen Zulassung angegeben, da er aus Versuchen ermittelt wird. Ist dies nicht der Fall, kann der charakteristische Widerstand basierend auf f_{uk} wie folgt berechnet werden:

$V_{Rk,s} = \lambda \cdot 0,5 \cdot A_s \cdot f_{uk}$	[N]	(Gl. 10.16)
A_s	Maßgebender, tatsächlicher Spannungsquerschnitt der Verankerung	[mm ²]
f_{uk}	Charakteristische Zugfestigkeit des Stahls (Nennwert)	[N/mm ²]
λ	Abminderungsfaktor bei Gruppenverankerungen mit geringer Duktilität = 0,8	

Der Faktor λ berücksichtigt eine ungleichmäßige Verteilung der Lasten infolge Lochspiels in der Ankerplatte, wenn davon ausgegangen werden muss, dass der Stahl aufgrund geringer Duktilität keine ausreichende Verformungsfähigkeit besitzt und ein Teil der Dübel höher belastet wird. Daher muss bei Dübelgruppen die charakteristische Tragfähigkeit mit dem Faktor $\lambda = 0,8$ gemindert werden, wenn der Stahl des Dübels eine Bruchdehnung (A_5) aufweist, die kleiner als 8 % ist.

Verankerungen, die mit planmäßigem oder unplanmäßigem Hebelarm ausgeführt werden, müssen unter Berücksichtigung der auftretenden Biegespannung berechnet werden. Der charakteristische Widerstand $V_{Rk,s}$ eines Befestigungsmittels mit Biegebeanspruchung berechnet sich wie folgt:

$V_{Rk,s} = (\alpha_M \cdot M_{Rk,s}) / l$	[N]	(Gl. 10.17)
α_M	Berücksichtigt den Einspanngrad des Dübels im Anbauteil = 1,0 bei frei drehbarer Anbindung = 2,0 bei voller Einspannung	[-]



l	Hebelarm der angreifenden Querlast (vgl. auch Kapitel 4.1, Bild 4.3) = $a_3 + e_1$	[mm]
a_3	= 0,5 d	[mm]
d	= Dübel- oder Gewindedurchmesser	[mm]
e_1	= Abstand zwischen angreifender Querlast und Betonoberfläche	[mm]
$M_{Rk,s}$	= Charakteristisches Biegemoment eines Einzeldübels, der ggf. gleichzeitig auf Zug belastet wird (nach Gleichung 10.18)	[Nm]

Tabelle 10.6/1: Bemessung für Stahlversagen mit Hebelarm nach ETAG 001, Anhang C

$M_{Rk,s} = M_{Rk,s}^0 \cdot (1 - N_{Ed} / N_{Rd,s})$	[Nm]	(Gl. 10.18)
$M_{Rk,s}^0$	Charakteristischer Widerstand bei reiner Biegebeanspruchung für einen Einzeldübel (Angabe in der ETA bzw. für Dübel nach vorliegender Erfahrung nach Gleichung 10.19)	[Nm]
$M_{Rk,s}^0 = 1,2 \cdot W_{el} \cdot f_{uk}$		(Gl. 10.19)
W_{el}	Elastisches Widerstandsmoment des Stahlquerschnitts der Verankerung: - für einen vollen Kreisquerschnitt gilt: $W_{el} = \pi / 32 \cdot d^3$ - für einen offenen Kreisquerschnitt gilt: $W_{el} = (\pi / 32) \cdot (d_{außen}^4 - d_{innen}^4) / d_{außen}$ - für Gewindestangen sind die Werte z. B. im Tabellenbuch Metall abgegeben	[mm ³]
f_{uk}	Charakteristische Stahlfestigkeit des beanspruchten Dübelquerschnitts (Angabe in der ETA)	[N/mm ²]
$N_{Ed,s}$	Bemessungswert der einwirkenden Zuglast	[N]
$N_{Rd,s}$	Bemessungswert des Widerstands unter Zugbeanspruchung für Stahlversagen (nach Gleichung 10.20)	[N]
$N_{Rd,s} = N_{Rk,s} / \gamma_{Ms}$		[Nm] (Gl. 10.20)
$N_{Rk,s}$	Charakteristischer Wert des Widerstands unter Zugbeanspruchung für Stahlversagen (Angabe in der ETA)	[N]
γ_{Ms}	Materialteilsicherheitsbeiwert für Stahlversagen (Angabe in der ETA)	[-]

Tabelle 10.6/2: Bemessung für Stahlversagen mit Hebelarm nach ETAG 001, Anhang C

Bei Gruppenbefestigungen ist der Nachweis für den höchstbeanspruchten Dübel zu führen (vgl. Kapitel 10.3.1.5.2, Tabelle 10.5).

10.3.1.5.2 Betonausbruch auf der lastabgewandten Seite (Pry-out)

Bei Betonausbruch auf der lastabgewandten Seite (auch „Pry-out“ oder „rückwärtiger Betonausbruch“ genannt) versagt die Verankerung durch einen Mechanismus, bei dem der Dübel den Beton auf der lastabgewandten Seite aus dem Verankerungsgrund hebt (vgl. Kapitel 6.2.2, Bild 6.11 und Bild 10.5 auf der Folgeseite). Aus der einwirkenden Querlast V resultieren Druckspannungen zwischen Dübel und Beton. Steigt die äußere Belastung V , so wird der Beton an der Oberfläche aufgrund dieser Druckspannungen geschädigt. Dadurch wirkt die aus den Druckspannungen resultierende Druckkraft V_b immer tiefer (von der Betonoberfläche aus gesehen) und die Ankerplatte löst sich auf der lastangreifenden Seite vom Beton. Infolgedessen vergrößert sich die Exzentrizität zwischen der Querlast V und der Druckkraft V_b . Das daraus entstehende Moment wird durch ein Kräftepaar aus Zugkraft N im Dübel und Druckkraft D zwischen Ankerplatte und Beton aufgenommen. Überschreitet die Zugkraft N im Dübel die Zugtragfähigkeit der maximal aktivierbaren Betonbruchfläche, bricht die Befestigung auf der lastabgewandten Seite aus dem Beton heraus (vgl. [45]). Durch die getroffenen Annahmen sind (abhängig vom Dübeltyp bzw. Dübeldurchmesser und der Verankerungstiefe) die wirkenden Zuglasten ca. halb so groß wie die angreifende Querlast. Daher verdoppelt sich der Widerstand für die Versagensart Pry-out für Verankerungstiefen > 60 mm. Bei sehr geringen Verankerungstiefen ist davon auszugehen, dass die Zuglasten genauso groß sind wie die aufgebrachte Querlast. Der charakteristische Widerstand $V_{Rk,cp}$ für eine Verankerung ergibt sich rechnerisch aus der zentrischen Zugtragfähigkeit. Da dieser Faktor von der Verankerungstiefe und dem Dübeltyp abhängt, wird dieser Faktor in der europäischen technischen Zulassung angegeben. Ist kein Wert angegeben, so kann der charakteristische Widerstand wie folgt berechnet werden:

$V_{Rk,cp} = k \cdot N_{Rk,c}$	(Gl. 10.21)
$N_{Rk,c}$ k	Charakteristische Tragfähigkeit für zentrische Zugbelastung (nach Tabelle 10.3) nach europäischer technischer Zulassung für Dübel, ansonsten darf angenommen werden: = 1,0 für $h_{ef} < 60$ mm = 2,0 für $h_{ef} \geq 60$ mm

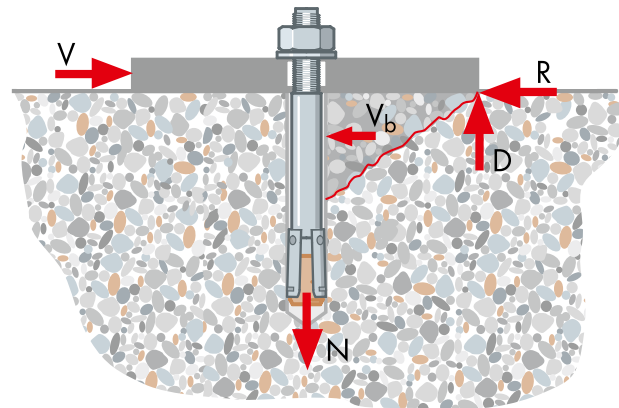
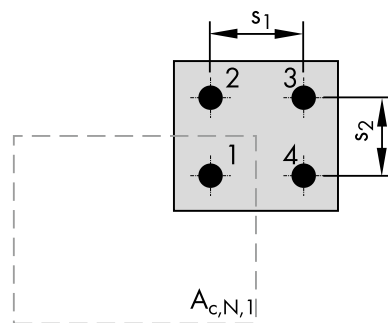


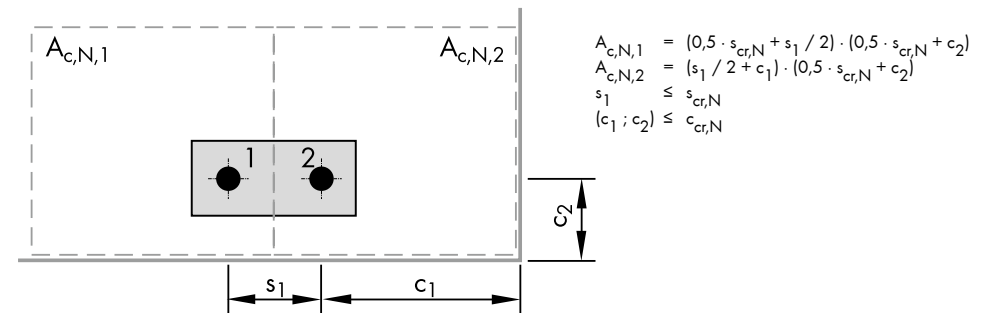
Bild 10.5: Mechanismus für Pry-out-Versagen

Für den Fall, dass z. B. infolge einer Torsionsbeanspruchung innerhalb einer Dübelgruppe die horizontalen und vertikalen Komponenten der resultierenden Querlasten auf die einzelnen Dübel in unterschiedliche Richtungen wirken, ist der Nachweis gegen rückwärtigen Betonausbruch der ganzen Gruppe ersatzweise durch den Nachweis gegen rückwärtigen Betonausbruch des ungünstigsten Dübels der Gruppe zu führen. Bei der Berechnung des Widerstands des ungünstigsten Dübels ist sowohl der Einfluss des Randabstands als auch der des Achsabstands zu berücksichtigen. Beispiele für die Berechnung von $A_{c,N}$ enthält Bild 10.6:



a) Gruppe aus vier Ankern ohne Randeinfluss

$$\begin{aligned} A_{c,N,1} &= (0,5 \cdot s_{cr,N} + s_1 / 2) \cdot (0,5 \cdot s_{cr,N} + s_2 / 2) \\ A_{c,N,2} &= A_{c,N,1} \\ A_{c,N,3} &= A_{c,N,1} \\ A_{c,N,4} &= A_{c,N,1} \\ (s_1 ; s_2) &\leq s_{cr,N} \end{aligned}$$



b) Gruppe aus zwei Ankern in einer Ecke

 Bild 10.6: Beispiele für die Berechnung der Fläche $A_{c,N}$ der idealisierten Betonausbruchkörper

10.3.1.5.2.3 Betonkantenbruch

Betonkantenbruch erfolgt dann, wenn durch eine randnahe Verankerung Lasten im Bereich der Betonoberfläche in Richtung der Kante eingeleitet werden. Dadurch entsteht ein Riss, der sich vom Dübel aus beginnend bis zur freien Kante hin ausbildet. Maßgebend ist dabei die im Beton senkrecht zum freien Rand wirkende Spannung. Bei einer Belastung unter einem bestimmten Winkel zum Rand ergibt sich die Spannungskomponente senkrecht zum Rand durch den entsprechenden Lastanteil in diese Richtung. Dies ist streng genommen nur richtig, wenn sich die Verankerung als auch der Untergrund linear verhalten. Daher sind für die praktische Anwendung Vereinfachungen anzunehmen.

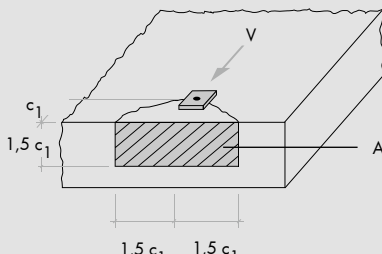
Für Verankerungen mit einem Randabstand in alle Richtungen $c \geq 10 h_{ef}$ bzw. $c \geq 60 d$ (vgl. Bild 10.2b) darf dieser Nachweis bei ausreichender Bauteildicke in der Regel entfallen, da die Verankerungen so weit vom Rand entfernt liegen, dass Stahlversagen maßgebend wird. Für Produkte aus Stahl mit sehr hohen Festigkeiten oder z. B. Gruppenverankerungen kann jedoch auch hier Betonkantenbruch maßgebend werden.

Die charakteristische Tragfähigkeit bei Versagen infolge Betonkantenbruchs errechnet sich folgendermaßen:

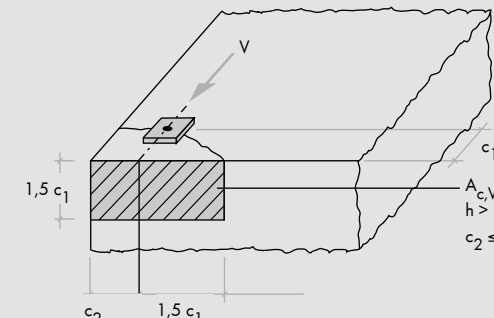
Grundgleichung	$V_{Rk,c} = V_{Rk,c}^0 \cdot (A_{c,V} / A_{c,V}^0) \cdot \psi_{s,V} \cdot \psi_{h,V} \cdot \psi_{ec,V} \cdot \psi_{a,V} \cdot \psi_{re,V}$	[N] (Gl. 10.22)
Ausgangswert	$V_{Rk,c}^0 = k_1 \cdot d_{nom}^\alpha \cdot l_f^\beta \cdot \sqrt{f_{ck,cube}} \cdot c_1^{1,5}$	[N] (Gl. 10.23)
$f_{ck,cube}$	Charakteristische Würfeldruckfestigkeit der Betondruckfestigkeitsklasse unter Berücksichtigung der Grenzen nach europäischer technischer Zulassung	[N/mm ²]
k_1	Faktor zur Berücksichtigung von gerissenem Beton = 1,7 für Anwendungen in gerissenem Beton = 2,4 für Anwendungen in ungerissenem Beton	
c_1	Randabstand in Richtung der Querlast	[mm]
l_f	Wirksame Dübellänge nach europäischer technischer Zulassung	[mm]
α	= $0,1 \cdot (l_f / c_1)^{0,5}$	[-]
β	= $0,1 \cdot (d_{nom} / c_1)^{0,2}$	[-]

Tabelle 10.7/1: Bemessung für Betonkantenbruch nach ETAG 001, Anhang C

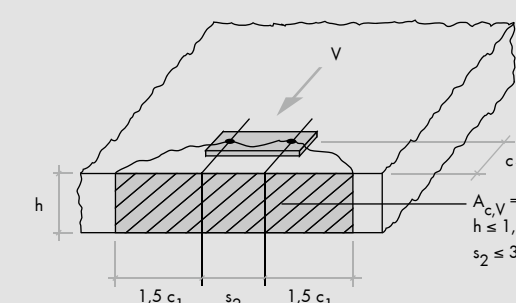
d_{nom}	Außendurchmesser des Dübels nach europäischer technischer Zulassung [mm]	
$A_{c,V}^0$	= Bezugswert der projizierten Fläche = $4,5 \cdot c_1^2$	
$A_{c,V}$	= Vorhandene Fläche des idealisierten Ausbruchkörpers; sie wird durch die Überschneidungen der einzelnen Ausbruchkörper benachbarter Befestigungsmittel ($s \leq 3 \cdot c_1$) sowie durch Bauteilränder parallel zur angenommenen Lastrichtung ($c_2 \leq 1,5 \cdot c_1$) und Bauteildicke ($h \leq 1,5 \cdot c_1$) begrenzt	



$A_{c,V}^0 = (2 \cdot 1,5 c_1) \cdot 1,5 c_1$
 $= 4,5 \cdot c_1^2$



$A_{c,V} = 1,5 c_1 \cdot (1,5 c_1 + c_2)$
 $h > 1,5 c_1$
 $c_2 \leq 1,5 c_1$



$A_{c,V} = (2 \cdot 1,5 c_1 + s_2) \cdot h$
 $h \leq 1,5 c_1$
 $s_2 \leq 3 c_1$

Tabelle 10.7/2: Bemessung für Betonkantenbruch nach ETAG 001, Anhang C

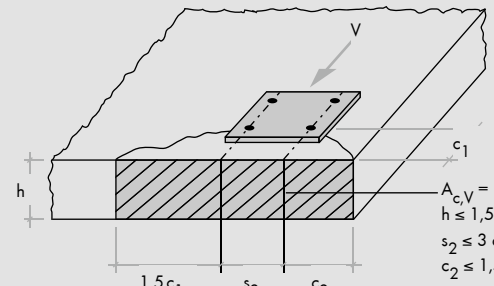
	 $A_{c,V} = (1,5 c_1 + s_2 + c_2) \cdot h$ $h \leq 1,5 c_1$ $s_2 \leq 3 c_1$ $c_2 \leq 1,5 c_1$	
$\psi_{s,V}$	Berücksichtigt die Störung des Spannungszustands im Beton durch weitere Bauteilränder und dessen Einfluss auf den Widerstand gegen Querlast; bei Verankerungen mit zwei Randabständen parallel zur Lastrichtung (z. B. in einem schmalen Bauteil) ist der kleinere Randabstand einzusetzen $\psi_{s,V} = 0,7 + 0,3 \cdot [c_2 / (1,5 \cdot c_1)] \leq 1$	[-] (Gl. 10.24)
$\psi_{h,V}$	Berücksichtigt, dass der Widerstand gegen Querlasten nicht proportional zur Bauteildicke, wie beim Verhältnis $A_{c,V} / A_{c,V}^0$ angenommen, abnimmt $\psi_{h,V} = (1,5 \cdot c_1 / h)^{1/2} \geq 1$	[-] (Gl. 10.25)
$\psi_{ec,V}$	Berücksichtigt den Einfluss von exzentrischen Querlasten, die auf eine Gruppenbefestigung wirken $\psi_{ec,V} = 1 / [1 + 2 \cdot e_V / (3 \cdot c_1)] \leq 1$ e_V = Exzentrizität der resultierenden Querlast zum Schwerpunkt der Dübel ohne Querlast	[-] (Gl. 10.26)
$\psi_{\alpha,V}$	Berücksichtigt den Winkel α_V zwischen der einwirkenden Last V_{sd} und der Richtung senkrecht zur betrachteten freien Bauteilkante $\psi_{\alpha,V} = \sqrt{1 / [(\cos \alpha_V)^2 + (\sin \alpha_V / 2,5)^2]} \geq 1,0$	[-] (Gl. 10.27)
$\psi_{re,V}$	Berücksichtigt, welche Art von Bewehrung vorhanden ist = 1,0 Verankerung im ungerissenen Beton und Verankerung im gerissenen Beton ohne Rand- oder Aufhängebewehrung = 1,2 Verankerung im gerissenen Beton mit gerader Randbewehrung ($\geq \varnothing 12 \text{ mm}$) = 1,4 Verankerung im gerissenen Beton mit Randbewehrung und engmaschiger Aufhängebewehrung $a \leq 100 \text{ mm}$ (z. B. Bügel mit kleinem Achsabstand)	

Tabelle 10.7/3: Bemessung für Betonkantenbruch nach ETAG 001, Anhang C

Bei Verankerungen in einem schmalen, dünnen Bauteil mit $c_{2,max} < 1,5 c_1$ ($c_{2,max}$ = größter Randabstand aus den beiden Randabständen parallel zur Lastrichtung) und $h < 1,5 c_1$ führt die Berechnung nach Gleichung 10.22 zu Ergebnissen, die auf der sicheren Seite liegen.

Genauere Ergebnisse werden erzielt, wenn in den Gleichungen 10.23 bis 10.26 und bei der Ermittlung der Flächen $A_{c,V}^0$ und $A_{c,V}$ nach den Bildern in Tabelle 10.7 der Randabstand c_1 durch den Wert c_1' ersetzt wird. Dabei ist c_1' der größere der beiden Werte $h / 1,5$ und $c_{2,max} / 1,5$ bzw. bei Dübelgruppen $s_{2,max} / 3$ (vgl. hierzu auch Kapitel 10.3.3.5.2.4 mit Bild 10.18).

10.3.1.5.3 Kombinierte Zug- und Querbeanspruchung

Kombinierte Belastungen werden immer so behandelt, dass die Ausnutzung jeweils getrennt für Zug- und Querbeanspruchung und daraus über eine Interaktionsgleichung die Gesamtausnutzung ermittelt wird.

Bei einer kombinierten Belastung infolge von Zugbelastung und Querbelastung muss daher zunächst für jede Versagensart

- der Ausnutzungsgrad β_N infolge der zentrischen Zugbelastung

$$\beta_N = N_{Ed} / N_{Rd} \leq 1 \quad (\text{Gl. 10.28})$$

- und der Ausnutzungsgrad β_V der Querbelastung

$$\beta_V = V_{Ed} / V_{Rd} \leq 1 \quad (\text{Gl. 10.29})$$

berechnet werden. Durch das Addieren der Höchstwerte der sich daraus ergebenden Ausnutzungsgrade β_N und β_V wird die Gesamtausnutzung berechnet. Diese darf maximal 120 % betragen:

$$\beta_N + \beta_V \leq 1,2 \quad (\text{Gl. 10.30})$$

Die obigen Gleichungen sind für die Berechnung sehr einfach anzuwenden, führen aber zu konservativen Ergebnissen (vgl. Bild 10.7a). Das Ergebnis liegt weniger weit auf der sicheren Seite, wenn die Ausnutzung der Verankerung wie folgt berechnet wird:

$$\beta_N^\alpha + \beta_V^\alpha \leq 1 \quad (\text{Gl. 10.31})$$

Der Exponent α gibt die Art der Interaktion an. Für einen Wert $\alpha = 1,0$ handelt es sich um eine lineare Interaktion. Diese kann auf der sehr sicheren Seite immer angewandt werden. Durch Versuche wurden die Exponenten bestimmt. Dabei können zwei Fälle unterschieden werden:

- $\alpha = 2,0$ wenn für N_{Rd} und V_{Rd} Stahlversagen maßgebend ist (Bild 10.7c)
- $\alpha = 1,5$ bei allen anderen Kombinationen von Versagensarten (Bild 10.7b)

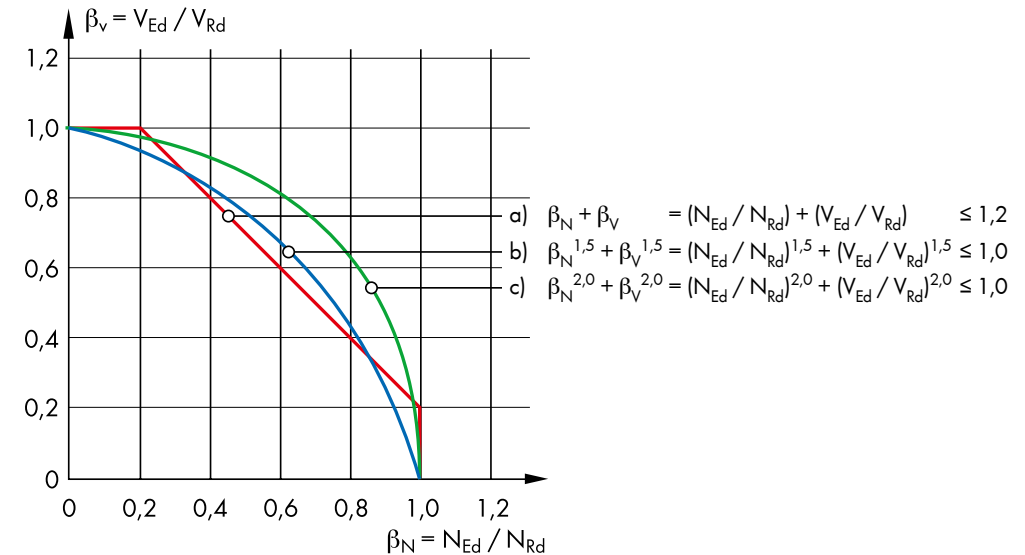


Bild 10.7: Interaktionsdiagramm für kombinierte Zug- und Querbeanspruchung nach ETAG 001, Anhang C

10.3.1.6 Zusätzliche Nachweise zur Sicherung der charakteristischen Bauteiltragfähigkeit

Durch nachträgliche Verankerungen werden Lasten in das Bauteil eingeleitet, die für die Tragfähigkeit dieses Bauteils maßgebend sein können. Das betrifft zum Beispiel den Anwendungsfall, wenn in einer Stahlbetondecke von unten eine Last eingeleitet wird. Im Stahlbetonbau darf die Zugtragfähigkeit des Betons für die Lastenleitung nicht planmäßig ausgenutzt werden.

Verankerungen hingegen nutzen die Zugtragfähigkeit des Betons, um die Lasten in das Bauteil einzuleiten. Daher muss bei der Bauteiltragfähigkeit die Quertragfähigkeit und das Bauteilspalten nachgewiesen werden. Beide Nachweise sind im Folgenden aufgeführt.

10.3.1.6.1 Quertragfähigkeit des Betonbauteils

Grundsätzlich ist die Weiterleitung der Lasten, die durch Verankerungen eingeleitet werden, im Bauwerk vom Verankerungspunkt bis ins Fundament nachzuweisen. Generell sollten die Querkkräfte im Bauteil, die durch die Verankerung verursacht werden, die im Folgenden genannten Werte nicht überschreiten, da ansonsten die Schubtragfähigkeit des Bauteils nicht mehr ausreicht. Die Lasten, die über eine Verankerung in das Bauteil eingeleitet werden, sind aus diesem Grund auf 40 % der Schubtragfähigkeit begrenzt.

$$V_{Ed,A} \leq 0,4 \cdot V_{Rd,1} \quad (\text{Gl. 10.32})$$

$V_{Rd,1}$ = Widerstand der Querbeanspruchung nach DIN EN 1992-1-1
bzw. nach DIN 1045-1

Bei der Berechnung von $V_{Ed,A}$ sind die Lasten aus den Befestigungsmitteln als Punktlasten anzunehmen. Die Lasteintragungsbreite beträgt:

$t_1 \leq s_{t1} + 2 h_{ef}$	(Gl. 10.33)
$t_2 \leq s_{t2} + 2 h_{ef}$	(Gl. 10.34)
$s_{t1} (s_{t2})$ = Achsabstand zwischen den äußeren Befestigungsmitteln einer Gruppenbefestigung in Richtung 1 bzw. Richtung 2	

Die mitwirkende Breite, über die die Querkraft übertragen wird, sollte nach der Elastizitätstheorie berechnet werden. Der obige Nachweis kann jedoch entfallen, wenn eine der folgenden Bedingungen erfüllt ist:

- Die durch den Bemessungswert der Beanspruchungen einschließlich der Lasten aus dem Befestigungsmittel am Auflager verursachte Querkraft V_{Ed} ist für Bauteile ohne Schubbewehrung

$$V_{Ed} \leq 0,8 \cdot V_{Rd,1} \quad (\text{Gl. 10.35})$$

- Unter den charakteristischen Einwirkungen beträgt die resultierende Zuglast N_{Ek} der zugbeanspruchten Befestigungsmittel $N_{Ek} \leq 30 \text{ kN}$. Der Achsabstand a zwischen den äußeren Befestigungsmitteln benachbarter Gruppenbefestigungen oder zwischen den äußeren Befestigungsmitteln einer Gruppenbefestigung und Einzelbefestigungen erfüllt die folgende Gleichung:

$$a \geq 200 \cdot N_{Ek}^{0,5} \quad a [\text{mm}]; N_{Ek} [\text{kN}] \quad (\text{Gl. 10.36})$$

- Die Lasten der Befestigungsmittel werden von einer Aufhängebewehrung aufgenommen, die die Zugbewehrung umschließt und an der gegenüberliegenden Seite des Betonbauteils verankert ist. Ihr Abstand von Einzelbefestigungen oder von den äußeren Befestigungen einer Gruppenbefestigung muss kleiner sein als h_{ef} .

Ist unter den charakteristischen Einwirkungen die resultierende Zuglast N_{Ek} der zugbeanspruchten Befestigungsmittel $N_{Ek} \geq 60 \text{ kN}$, muss entweder die Verankerungstiefe $h_{ef} \geq 0,8 h$ betragen oder die oben beschriebene Aufhängebewehrung vorhanden sein. Die erforderlichen Nachweise sind in Tabelle 10.7 zusammengefasst:

Rechnerische Querbeanspruchung inkl. der Dübellasten	Abstand der Einzeldübel oder Dübelgruppen	N_{Ek}	Nachweis
$V_{Ed} \leq 0,8 \cdot V_{Rd1}$	$a \geq s_{cr,N}$	$\leq 60 \text{ kN}$	Nicht erforderlich
$V_{Ed} > 0,8 \cdot V_{Rd1}$	$a \geq s_{cr,N}$ und $a \geq 200 N_{Ek}^{0,5}$	$\leq 30 \text{ kN}$	Nicht erforderlich
		$\leq 60 \text{ kN}$	$V_{Ed,a} \leq 0,4 \cdot V_{Rd1}$ oder: Rückhängebewehrung oder: $h_{ef} \geq 0,8 h$
	$a \geq s_{cr,N}$	$> 60 \text{ kN}$	Nicht erforderlich, wenn Rückhängebewehrung oder wenn $h_{ef} \geq 0,8 h$

Tabelle 10.8: Nachweise zur Sicherung der Quertragfähigkeit des Bauteils

10.3.1.6.2 Widerstand gegen Spaltkräfte

Im Allgemeinen sind die durch die Befestigungsmittel verursachten Spaltkräfte bei der Bemessung des Bauteils zu berücksichtigen. Dies darf vernachlässigt werden, wenn eine der folgenden Bedingungen erfüllt ist:

- Der Bereich der Lastabtragung liegt in der Druckzone des Betonbauteils.
- Die Zuglastkomponente N_{Ek} der auf die Befestigung (Einzel- oder Gruppenbefestigung) wirkenden charakteristischen Lasten ist kleiner als 10 kN .
- Die Zuglastkomponente N_{Ek} ist nicht größer als 30 kN . Außerdem ist bei Befestigungen in Platten und Wänden eine konzentrierte Bewehrung in beiden Richtungen im Bereich der Befestigung vorhanden. Die Fläche der Querbewehrung muss mindestens 60 % der für die Einwirkungen aufgrund der Lasten aus den Befestigungsmitteln erforderlichen Längsbewehrung betragen.

Beträgt die auf die Befestigung wirkende Zuglast $N_{Ek} \geq 30 \text{ kN}$ und liegen die Befestigungsmittel in der Zugzone des Betonbauteils, sind die Spaltkräfte durch eine Bewehrung aufzunehmen. Als erster Anhaltspunkt für Befestigungsmittel, die der vorliegenden Erfahrung entsprechen, darf die Spaltkraft $F_{sp,k}$ wie folgt angesetzt werden:

$$F_{sp,k} = \begin{aligned} &1,5 N_{Ek} \text{ drehmomentkontrolliert (= kraftkontrolliert) spreizende Dübel (nach ETAG 001, Teil 2)} \\ &1,0 N_{Ek} \text{ Hinterschnittdübel (nach ETAG 001, Teil 3)} \\ &2,0 N_{Ek} \text{ weggelastet spreizende Dübel, z. B. Einschlaganker (nach ETAG 001, Teil 4)} \end{aligned}$$

Ein typischer Fall, in dem die Spalttragfähigkeit des Bauteils maßgebend werden kann, sind schmale oder dünne Streifenfundamente, in die z. B. mit drehmomentkontrolliert spreizenden Dübeln verankert wird. Hier besteht die Gefahr, dass bei Belastung der Dübel das Fundament spaltet. Hierfür muss das Fundament so bewehrt werden, dass die Spaltlasten aus der Verankerung aufgenommen werden. Zudem sollte die Rissbreite auf $0,3 \text{ mm}$ begrenzt werden, um die Gebrauchstauglichkeit nach DIN EN 1992-1-1 (vgl. Kapitel 3.2.5, Bild 3.6 b) einzuhalten.

10.3.1.7 Beispiel

10.3.1.7.1 Aufgabenstellung

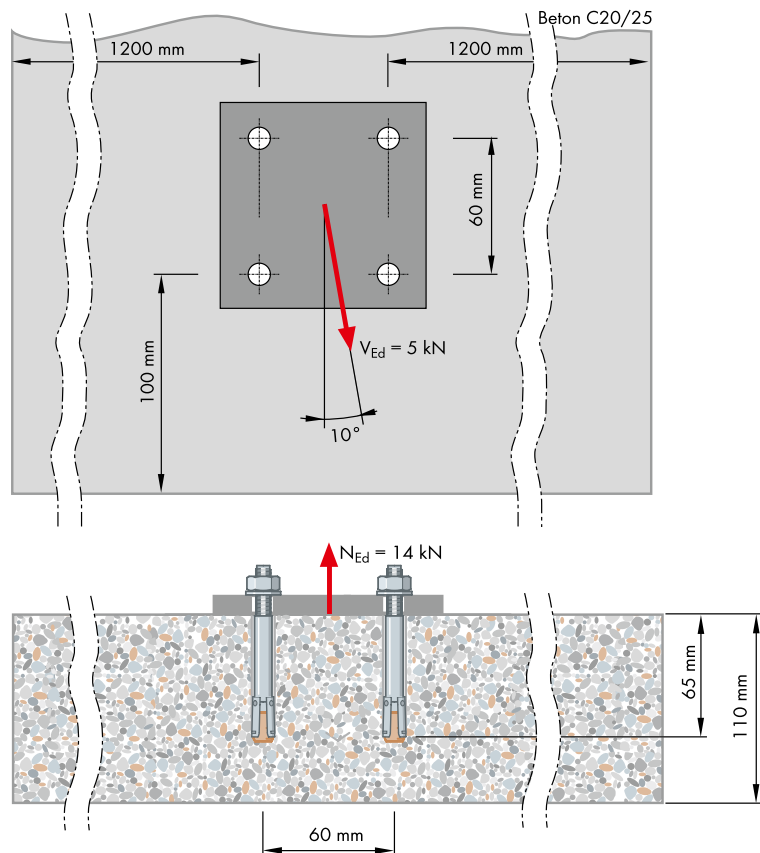


Bild 10.8: Aufgabenstellung Bemessungsbeispiel

Dübelgruppe mit 4 Dübeln

Befestigungsmittel: W-FAZ/S M12 gemäß ETA-99/0011 vom 8. März 2011, Stahl verzinkt

 $h_{ef} = 65 \text{ mm}$
 $c_1 = 100 \text{ mm}$

Randabstand:

 $s_1 = s_2 = 60 \text{ mm}$

 Untergrund: Beton C20/25 $\rightarrow f_{ck,cube} = 25 \text{ N/mm}^2$

Beschaffenheit unbekannt

 Plattendicke $h = 110 \text{ mm}$

 Keine dichte Bewehrung, gerade Randbewehrung, $d_s = 12 \text{ mm}$

 Durchgangsloch der Dübel im Anbauteil: $d_f = 14 \text{ mm}$

 Einwirkungen: $N_{Ed} = 14 \text{ kN}$
 $V_{Ed} = 5 \text{ kN}$ ($\alpha = 10^\circ$)

10.3.1.7.2 Ermittlung der Widerstände

■ Zugbeanspruchung

■ Stahlversagen

Nach ETA-99/0011:

$$N_{Rk,s} = 39 \text{ kN}$$

$$\gamma_{MS} = 1,53$$

$$N_{Rd,s} = N_{Rk,s} / \gamma_{MS} = 25,5 \text{ kN (pro Dübel)}$$

■ Herausziehen: Da die Beschaffenheit des Betons unbekannt ist, ist von gerissenem Beton auszugehen.

Nach ETA-99/0011:

$$N_{Rk,p} = 12 \text{ kN}$$

$$\gamma_{M,p} = 1,5$$

$$N_{Rd,p} = N_{Rk,p} / \gamma_{M,p} = 8,0 \text{ kN (pro Dübel)}$$

■ Betonausbruch:

$$N_{Rk,c} = N_{Rk,c}^0 \cdot (A_{c,N} / A_{c,N}^0) \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{ec,N} \cdot \psi_{ucr,N}$$

$$N_{Rk,c}^0 = k_1 \cdot \sqrt{f_{ck,cube}} \cdot h_{ef}^{1,5} = 7,2 \cdot \sqrt{25} \cdot 65^{1,5} = 18866 \text{ N} = 18,9 \text{ kN}$$

$$A_{c,N}^0 = s_{cr,N} \cdot s_{cr,N} = (3 \cdot h_{ef})^2 = (3 \cdot 65 \text{ mm})^2 = 38025 \text{ mm}^2$$

$$c_1 = 100 \text{ mm} \geq 1,5 \geq h_{ef} = 1,5 \cdot 65 \text{ mm} = 97,5 \text{ mm} \rightarrow \text{kein Randeinfluss}$$

$$A_{c,N} = (2 \cdot 0,5 \cdot s_{cr,N} + s_2) \cdot (1,5 \cdot h_{ef} + s_1 + 0,5 \cdot s_{cr,N})$$

$$= (3 \cdot h_{ef} + s_2) \cdot (3 \cdot h_{ef} + s_1)$$

$$= (3 \cdot 65 \text{ mm} + 60 \text{ mm}) \cdot (3 \cdot 65 \text{ mm} + 60 \text{ mm})$$

$$= 65025 \text{ mm}^2$$

$$\psi_{s,N} = 0,7 + 0,3 \cdot (c / c_{cr,N}) = 0,7 + 0,3 \cdot (100 \text{ mm} / (1,5 \cdot 65 \text{ mm}))$$

$$= 1,01 \leq 1,0$$

$$\psi_{s,N} = 1,0$$

$$\psi_{re,N} = 1,0 \quad (\text{keine Beeinflussung durch dichte Bewehrung})$$

$$\psi_{ec,N} = 1,0 \quad (\text{keine Beeinflussung durch exzentrisch angreifende Last})$$

$$N_{Rk,c} = 18,9 \text{ kN} \cdot (65025 \text{ mm}^2 / 38025 \text{ mm}^2) \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 32,3 \text{ kN}$$

$$\gamma_{M,c} = 1,5$$

$$N_{Rd,c} = N_{Rk,c} / \gamma_{M,c} = 21,5 \text{ kN (für die Gruppenbefestigung)}$$

■ Querbeanspruchung

■ Stahlversagen ohne Hebelarm:

Nach ETA-99/0011:

$$V_{Rk,s} = 33 \text{ kN}$$

$$\gamma_{M,s} = 1,25$$

$$V_{Rd,s} = V_{Rk,s} / \gamma_{M,s} = 26,4 \text{ kN (für einen Dübel)}$$

■ Rückwärtiger Betonausbruch

Nach ETA-99/0011:

$$V_{Rk,cp} = k \cdot N_{Rk,c}$$

$$k = 2,0$$

$$V_{Rk,cp} = 2,0 \cdot 32,3 \text{ kN} = 64,6 \text{ kN}$$

$$\gamma_{M,cp} = 1,5$$

$$V_{Rd,cp} = V_{Rk,cp} / \gamma_{M,cp} = 43,1 \text{ kN (für die Gruppenbefestigung)}$$

■ Betonkantenbruch

$$V_{Rk,c} = V_{Rk,c}^0 \cdot (A_{c,V} / A_{c,V}^0) \cdot \psi_{s,V} \cdot \psi_{h,V} \cdot \psi_{ec,V} \cdot \psi_{a,V} \cdot \psi_{re,V}$$

$$V_{Rk,c}^0 = k_1 \cdot d_{nom}^\alpha \cdot l_f^\beta \cdot \sqrt{f_{ck,cube}} \cdot c_1^{1,5}$$

Nach ETA-99/0011:

$$l_f = 65 \text{ mm}$$

$$d_{nom} = 12 \text{ mm}$$

$$\alpha = 0,1 \cdot (l_f \cdot c_1)^{0,5} = (65 / 100)^{0,5} = 0,081$$

$$\beta = 0,1 \cdot (d_{nom} \cdot c_1)^{0,2} = (10 / 100)^{0,2} = 0,065$$

$$V_{Rk,c}^0 = 1,7 \cdot 12^{0,081} \cdot 65^{0,065} \cdot \sqrt{25} \cdot 100^{1,5} \\ = 13601,68 \text{ N} = 13,6 \text{ kN}$$

$$A_{c,V}^0 = (1,5 \cdot c_1) \cdot (2 \cdot 1,5 \cdot c_1) = 1,5 \cdot 100 \text{ mm} \cdot 2 \cdot 1,5 \cdot 100 \text{ mm} \\ = 45000 \text{ mm}^2$$

$$A_{c,V} = (1,5 \cdot c_1 + s_2 + 1,5 \cdot c_1) \cdot h \\ = (2 \cdot 1,5 \cdot 100 \text{ mm} + 60 \text{ mm}) \cdot 110 \text{ mm} \\ = 39600 \text{ mm}^2$$

$$\psi_{s,V} = 1, \text{ da } c_2 \text{ sehr groß (keine weitere Bauteilkante)}$$

$$\psi_{h,V} = 1,0 \cdot [(1,5 \cdot c_1) / h]^{1/3} = [(1,5 \cdot 100 \text{ mm}) / 110 \text{ mm}]^{1/3}$$

$$= 1,11 \geq 1$$

$$\psi_{\alpha,V} = \sqrt{1 / [(\cos 10)^\alpha + (\sin 10 / 2,5)^2]} = 1,01$$

$$\psi_{ec,V} = 1,0 \text{ (da keine exzentrisch angreifenden Querlasten auftreten)}$$

$$\psi_{re,V} = 1,2 \text{ (Befestigung im gerissenen Beton mit gerader Randbewehrung } d = 12 \text{ mm)}$$

$$V_{Rk,c} = 13,6 \text{ kN} \cdot (39600 \text{ mm}^2 / 45000 \text{ mm}^2) \cdot 1,0 \cdot 1,11 \cdot 1,01 \cdot 1,0 \cdot 1,2 = 16,10 \text{ kN}$$

$$\gamma_{M,c} = 1,5$$

$$V_{Rd,c} = V_{Rk,c} / \gamma_{M,c} = 10,7 \text{ kN (für die Gruppenbefestigung)}$$

10.3.1.7.3 Nachweise

■ Zugbeanspruchung

■ Stahlversagen:

Das höchstbeanspruchte Befestigungsmittel ist nachzuweisen, die Zugkraft wird auf alle 4 Dübel gleichmäßig verteilt.

$$N_{Ed}^h \leq N_{Rd,s}$$

$$14 \text{ kN} \cdot (1 / 4) = 3,5 \text{ kN} \leq 25,5 \text{ kN} \quad \text{Nachweis erfüllt, } \beta_{N,s} = 3,5 \text{ kN} / 25,5 \text{ kN} = 0,14$$

■ Herausziehen:

Das höchstbeanspruchte Befestigungsmittel ist nachzuweisen, die Zugkraft wird auf alle 4 Dübel gleichmäßig verteilt.

$$N_{Ed}^h \leq N_{Rd,p}$$

$$14 \text{ kN} \cdot (1 / 4) = 3,5 \text{ kN} \leq 8,0 \text{ kN} \quad \text{Nachweis erfüllt, } \beta_{N,p} = 3,5 \text{ kN} / 8,0 \text{ kN} = 0,44$$

■ Betonausbruch:

Die Gruppenbefestigung ist nachzuweisen, die Zugkraft wird auf alle 4 Dübel gleichmäßig verteilt.

$$N_{Ed}^g \leq N_{Rd,c}$$

$$14 \text{ kN} \leq 21,5 \text{ kN}$$

$$\text{Nachweis erfüllt, } \beta_{N,c} = 14 \text{ kN} / 21,5 \text{ kN} = 0,65$$

■ Spalten:

Der Nachweis gegen Spalten darf entfallen, da der Nachweis für Betonausbruch und Herausziehen für gerissenen Beton erfüllt und eine entsprechende Bewehrung zur Aufnahme der Spaltkräfte vorhanden ist. Die Rissweite ist auf $w_k = 0,3 \text{ mm}$ zu begrenzen.

■ Querbeanspruchung

Da der Randabstand der Dübelgruppe $c = 100 \text{ mm} < 10 h_{ef} = 650 \text{ mm}$ ist, darf die angreifende Querlast nur auf die beiden für die Tragfähigkeit ungünstigsten Dübel verteilt werden.

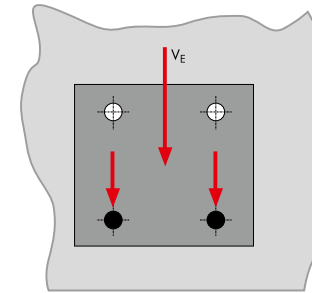


Bild 10.9: Verteilung der Querlast bei randnahen Dübelgruppen

■ Stahlversagen ohne Hebelarm:

Das höchstbeanspruchte Befestigungsmittel ist nachzuweisen, nur die beiden randnahen Dübel nehmen die Querlast auf.

$$V_{Ed}^h \leq V_{Rd,s}$$

$$5 \text{ kN} \cdot (1 / 2) = 2,5 \text{ kN} \leq 24,0 \text{ kN} \quad \text{Nachweis erfüllt, } \beta_{V,s} = 2,5 \text{ kN} / 24,0 \text{ kN} = 0,09$$

■ Stahlversagen mit Hebelarm:

Der Nachweis darf entfallen, da das Anbauteil direkt auf dem Verankerungsgrund aufliegt.

■ Rückwärtiger Betonausbruch:

Die Gruppenbefestigung ist nachzuweisen, nur die beiden randnahen Dübel nehmen die Querlast auf.

$$V_{Ed}^g \leq V_{Rd,cp}$$

$$5 \text{ kN} \leq 43,1 \text{ kN}$$

$$\text{Nachweis erfüllt, } \beta_{V,cp} = 5 \text{ kN} / 43,1 \text{ kN} = 0,12$$

■ Betonkantenbruch:

Die Gruppenbefestigung ist nachzuweisen, nur die beiden randnahen Dübel nehmen die Querlast auf.

$$V_{Ed}^g \leq V_{Rd,c}$$

$$5 \text{ kN} \leq 10,7 \text{ kN}$$

$$\text{Nachweis erfüllt, } \beta_{V,c} = 5 \text{ kN} / 10,7 \text{ kN} = 0,47$$

■ Kombinierte Zug- und Querbeanspruchung

■ Ausnutzungsgrad infolge von Zugbelastung:

$$\beta_N = \max(\beta_{N,s}; \beta_{N,p}; \beta_{N,c})$$

$$= \beta_{N,c}$$

$$= 0,65 \leq 1,0$$

Nachweis erfüllt

- Ausnutzungsgrad infolge von Querbewehrung:

$$\begin{aligned}\beta_V &= \max(\beta_{V,s}; \beta_{V,cp}; \beta_{V,c}) \\ &= \beta_{V,c} \\ &= 0,47 \leq 1,0\end{aligned}$$

Nachweis erfüllt

- Interaktion:

$$\begin{aligned}\text{Möglichkeit 1: } \beta_N + \beta_V &= (N_{Ed} / N_{Rd}) + (V_{Ed} / V_{Rd}) \\ &= 0,65 + 0,47 \\ &= 1,12 \leq 1,2\end{aligned}$$

Nachweis erfüllt

$$\begin{aligned}\text{Möglichkeit 2: } \beta_N^\alpha + \beta_V^\alpha &= 0,65^{1,5} + 0,47^{1,5} \\ &= 0,85 \leq 1,0\end{aligned}$$

Nachweis erfüllt

10.3.2 Bemessung von Verbunddübeln nach EOTA Technical Report TR 029

10.3.2.1 Allgemeines

Die Bemessung nach dem EOTA Technical Report TR 029 gilt für Verbunddübel, die die Anforderungen der europäischen Leitlinie ETAG 001, Teile 1 und 5 an die Verwendung als Einzelbefestigung oder Dübelgruppe in Normalbeton erfüllen und über eine europäische technische Zulassung (ETA) verfügen. Das Bemessungsverfahren gilt für alle Verbunddübelarten, ausgenommen Verbund-Hinterschnittdübel, kraftkontrollierte Verbunddübel oder nachträgliche Bewehrungsanschlüsse. Sind die Werte für die charakteristische Tragfähigkeit, Achsabstände, Randabstände und Teilsicherheitsbeiwerte zwischen Bemessungsverfahren und ETA unterschiedlich, so gelten die in der ETA angegebenen Werte.

Das Bemessungsverfahren enthält für zugbeanspruchte Verbunddübel zusätzlich zum Bemessungsverfahren für Metalldübel nach ETAG 001, Anhang C einen Nachweis für kombiniertes Herausziehen mit Betonversagen, der über eine charakteristische Verbundspannung τ_{Rk} geführt wird. Dadurch können Verbunddübel flexibel mit Verankerungstiefen zwischen $h_{ef,min} \geq 4d$ bzw. 40 mm und $h_{ef,max} = 20d$ bemessen und ausgeführt werden.

Das Bemessungsverfahren nach TR 029 entspricht hinsichtlich der Nachweise bei den Versagensarten Stahl- und Betonversagen prinzipiell der Vorgehensweise in ETAG 001, Anhang C und CEN/TS 1992-4-5. Im TR 029 wurden jedoch Verbesserungen bei der Bemessung eingeführt, die sich aus der Erfahrung der Bemessung nach ETAG 001, Anhang C ergeben haben. Dadurch ist es möglich,

- Verbunddübel besser auszunutzen, also höhere Tragfähigkeiten zu erzielen, und
- die Verankerungstiefe flexibel festzulegen.

Auch nach TR 029 dürfen bei Dübelgruppen nur Dübel gleicher Bauart, Größe und Verankerungstiefe verwendet werden. Dabei wird vorausgesetzt, dass die Verteilung der einwirkenden Lasten auf die einzelnen Dübel durch eine ausreichend steife Ankerplatte gewährleistet ist (siehe auch Abschnitt 10.3.1.1).

Das in der Ankerplatte vorhandene Lochspiel ist auf die (bekannten) Werte nach Tabelle 5.1 (Kapitel 5.1) begrenzt. Davon darf in folgenden Fällen abgewichen werden:

- Die Befestigung wird auf Zug beansprucht und es wird zusätzlich zum Dübelssystem eine ausreichend große und steife Unterlegscheibe verwendet.
- Das Lochspiel bzw. der Ringspalt zwischen Dübel und Anbauteil wird bei Verankerungen unter Querlast oder kombinierter Zug- und Querlast (Schrägzug) mit einem ausreichend druckfesten Mörtel verfüllt oder durch entsprechende andere Mittel geschlossen.

Das Bemessungsmodell deckt die in Tabelle 10.8 dargestellten Anordnungen von Dübeln ab. Grundsätzlich sind auch davon abweichende Anordnungen wie z.B. dreieckige oder runde Anordnungen möglich. Die sinngemäße Anwendung des Berechnungsmodells erfordert dafür jedoch weitergehende ingenieurmäßige

Annahmen, auf die hier nicht weiter eingegangen werden kann. Grundsätzlich gilt, dass Anordnungen mit mehr als 4 Dübeln bzw. mehr als 2 Dübeln bei einer Reihenbefestigung nur zulässig sind, wenn der kleinste Randabstand des randnächsten Dübels größer als $10 \cdot h_{ef}$ oder $60 \cdot d$ ist.

Diese Regelung entspricht ETAG 001, Anhang C.

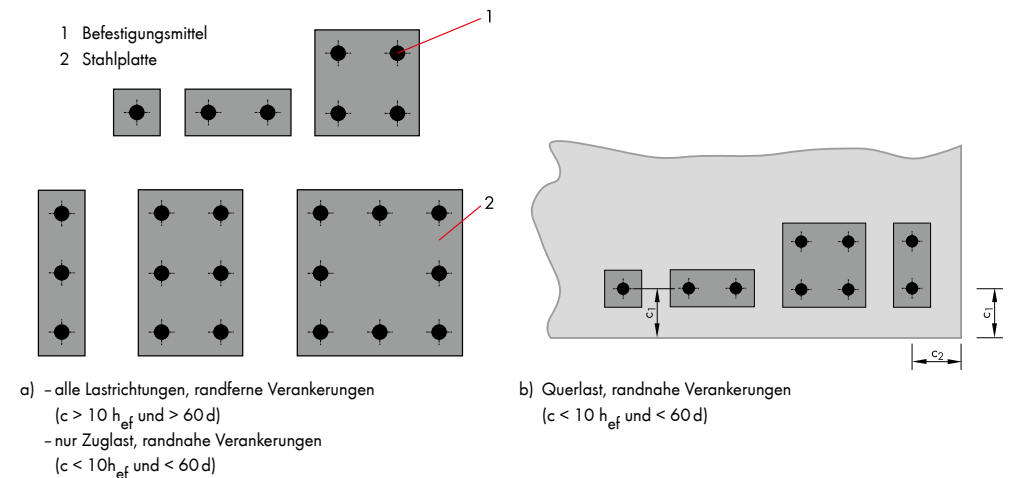


Bild 10.10: Verankerungen, die durch die Bemessungsverfahren nach Technical Report TR 029 abgedeckt sind

Das Bemessungsmodell gilt für Beton nach DIN EN 206 mit einer Festigkeitsklasse zwischen C20/25 und C50/60 und überwiegend ruhender Belastung. Grundsätzlich ist für Verankerungen von gerissenem Beton als Ankergrund auszugehen.

Das Bemessungsmodell gilt für eine quasi-statische Belastung der Dübel, d.h., Befestigungen unter einer seismischen oder schockartigen Belastung können nicht bemessen werden.

10.3.2.2 Gerissener und ungerissener Beton

Die Definition von gerissenem und ungerissenem Beton erfolgt analog zu ETAG 001, Anhang C (siehe Kapitel 10.3.1.2).

10.3.2.3 Lasteinwirkungen auf den Dübel

Die Lastenwirkungen auf den Dübel bestimmen sich wie nach ETAG 001, Anhang C (siehe Kapitel 10.3.1.3).

10.3.2.3.1 Zuglasten

Die Ermittlung der Zuglasten erfolgt analog zu ETAG 001, Anhang C (siehe Kapitel 10.3.1.3.1).

10.3.2.3.2 Querlasten

Die Ermittlung der Querlasten erfolgt analog zu ETAG 001, Anhang C (siehe Kapitel 10.3.1.3.2).

10.3.2.4 Teilsicherheitsbeiwerte

Die Ermittlung der Teilsicherheitsbeiwerte erfolgt wie in ETAG 001, Anhang C (siehe Kapitel 10.3.1.4).

10.3.2.5 Ermittlung der Widerstände

10.3.2.5.1 Zugbeanspruchung

Die erforderlichen Nachweise für die Tragfähigkeit bei einer reinen Zugbeanspruchung sind in Bild 10.11 zusammengefasst. Zusätzlich zu den in ETAG 001, Anhang C erforderlichen Nachweisen ist der Nachweis für kombiniertes Versagen infolge Betonausbruchs und Verbundversagens zu führen. Da bei dieser Versagensart die Tragfähigkeit des einzelnen Dübels vom vorhandenen Rand- bzw. Achsabstand abhängt, ist die Gruppen-tragfähigkeit (im Unterschied zu reinem Herausziehen bei mechanischen Dübeln) nachzuweisen.

	Einzeldübel	Dübelgruppe	
		Höchstbeanspruchtes Befestigungsmittel	Gruppe
Stahlversagen	$N_{Ed} \leq N_{Rk,s} / \gamma_{Ms}$	$N_{Ed}^h \leq N_{Rk,s} / \gamma_{Ms}$	
Kombiniertes Versagen durch Herausziehen und Betonausbruch	$N_{Ed} \leq N_{Rk,p} / \gamma_{Mp}$		$N_{Ed}^g \leq N_{Rk,p} / \gamma_{Mp}$
Betonausbruch	$N_{Ed} \leq N_{Rk,c} / \gamma_{Mc}$		$N_{Ed}^g \leq N_{Rk,c} / \gamma_{Mc}$
Spalten	$N_{Ed} \leq N_{Rk,sp} / \gamma_{Msp}$		$N_{Ed}^g \leq N_{Rk,sp} / \gamma_{Msp}$

Bild 10.11: Zugbelastung, erforderliche Nachweise nach TR 029

10.3.2.5.1.1 Stahlversagen

Die Ermittlung des charakteristischen Widerstands $N_{Rk,s}$ für Stahlversagen erfolgt analog zu ETAG 001, Anhang C (vgl. Kapitel 10.31.5.2.1).

10.3.2.5.1.2 Kombiniertes Versagen durch Herausziehen und Betonausbruch

Das Besondere an Verbunddübeln ist, dass diese in Abhängigkeit der Verankerungstiefe, der Rand- und Achsabstände, der Verbundspannung usw. unterschiedlich versagen können. Ist z.B. die übertragbare Verbundspannung sehr groß und die Verankerungstiefe gering, so versagt der Untergrund durch kegelförmigen Betonausbruch. Bei größer werdender Verankerungstiefe wird der Widerstand für diese Versagensart so groß, dass die Lasten nicht mehr über den Verbund in den Beton eingeleitet werden können. In diesem Fall versagt der Dübel durch Herausziehen und anschließend ggf. durch einen nachgelagerten kegelförmigen Betonausbruch. Um beide Versagensmechanismen zu berücksichtigen, wurden Bemessungsgleichungen für die Berechnung dieses kombinierten Versagens entwickelt und anhand von Versuchen überprüft.

Der charakteristische Widerstand eines Befestigungsmittels, einer Gruppenbefestigung und der zugbeanspruchten Befestigungsmittel einer Gruppenbefestigung im Fall von kombiniertem Versagen durch Herausziehen und Betonausbruch kann mit den folgenden Gleichungen ermittelt werden:

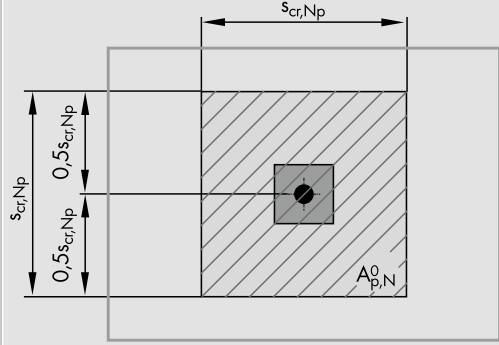
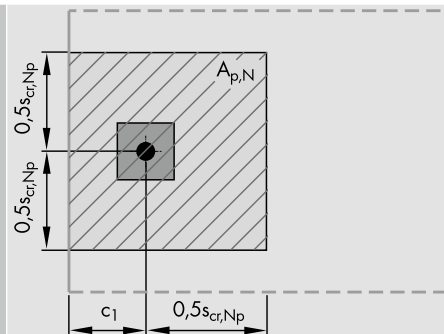
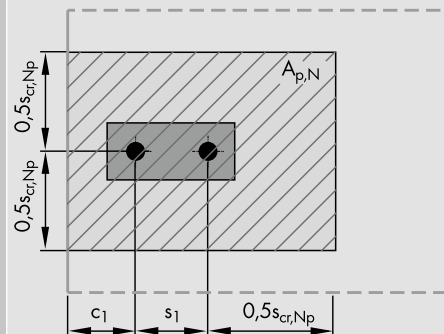
Grundgleichung	$N_{Rk,p} = N_{Rk,p}^0 \cdot (A_{p,N} / A_{p,N}^0) \cdot \psi_{g,Np} \cdot \psi_{s,Np} \cdot \psi_{re,Np} \cdot \psi_{ec,Np}$	[N] (Gl. 10.37)
Ausgangswert	$N_{Rk,p}^0 = \tau_{Rk} \cdot \pi \cdot d \cdot h_{ef}$	[N] (Gl. 10.38)
τ_{Rk}	Charakteristischer Widerstand des Verbunds, abhängig von der Betonfestigkeitsklasse; Werte für ungerissenen ($\tau_{Rk,ucr}$) oder gerissenen Beton ($\tau_{Rk,cr}$) sind in der zugehörigen europäischen technischen Zulassung zu finden	[N/mm ²]
d	Durchmesser der Ankerstange oder Außendurchmesser bei Innengewindehülsen	[mm]
h_{ef}	Effektive Verankerungstiefe nach europäischer technischer Zulassung	[mm]
$A_{p,N}^0$	Bezugswert der projizierten Fläche ($= s_{cr,Np} \cdot s_{cr,Np}$)	(Gl. 10.39)
 $A_{p,N}^0 = s_{cr,Np} \cdot s_{cr,Np}$		
$A_{p,N}$	Vorhandene projizierte Fläche, begrenzt durch die Überschneidung der Betonausbruchkörper benachbarter Befestigungsmittel ($s \leq s_{cr,Np}$) sowie durch Bauteilränder ($c \leq c_{cr,Np}$). Die Werte $s_{cr,Np}$, $c_{cr,Np}$ sind der entsprechenden europäischen technischen Zulassung zu entnehmen oder wie folgt zu berechnen: $s_{cr,Np} = 20 \cdot d \cdot (\tau_{Rk,ucr} / 7,5)^{0,5} \leq 3 h_{ef}$ bzw. $c_{cr,Np} = s_{cr,Np} / 2$ mit $\tau_{Rk,ucr}$ für C20/25	

Tabelle 10.9/1: Bemessung für kombiniertes Versagen infolge Betonausbruchs und Herausziehens nach TR 029



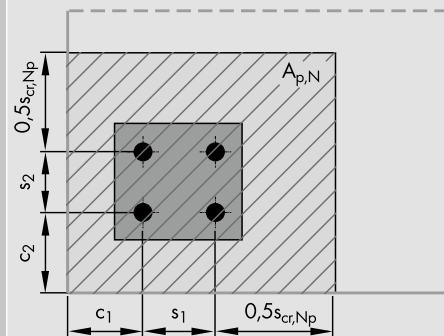
$$A_{p,N} = (c_1 + 0,5s_{cr,Np}) \cdot s_{cr,Np}$$

wenn $c_1 \leq c_{cr,Np}$



$$A_{p,N} = (c_1 + s_1 + 0,5s_{cr,N}) \cdot s_{cr,Np}$$

wenn $c_1 \leq c_{cr,Np}$
 $s_1 \leq s_{cr,Np}$



$$A_{p,N} = (c_1 + s_1 + 0,5s_{cr,Np}) \cdot (c_2 + s_2 + 0,5s_{cr,Np})$$

wenn $c_1 ; c_2 \leq c_{cr,Np}$
 $s_1 ; s_2 \leq s_{cr,Np}$

Tabelle 10.9/2: Bemessung für kombiniertes Versagen infolge Betonausbruchs und Herausziehens nach TR 029

$\psi_{g,Np}$	Berücksichtigt den Einfluss der Oberfläche des Ausbruchkörpers für Dübelgruppen: $\psi_{g,Np} = \psi_{g,Np}^0 - (s / s_{cr,Np})^{0,5} \cdot (\psi_{g,Np}^0 - 1) \geq 1 \quad [-] \quad (\text{Gl. 10.40})$ mit: $\psi_{g,Np}^0 = \sqrt{n} - (\sqrt{n} - 1) \cdot [d \cdot \tau_{Rk} / (k \cdot \sqrt{h_{ef}} \cdot f_{ck,cube})]^{1,5} \geq 1 \quad [-] \quad (\text{Gl. 10.41})$ • n ist die Anzahl der Verbunddübel innerhalb einer Gruppenbefestigung; • τ_{Rk} ist der charakteristische Widerstand des Verbunds, abhängig von der Betonfestigkeitsklasse. Werte für ungerissenen ($\tau_{Rk,ucr}$) oder gerissenen Beton ($\tau_{Rk,cr}$) sind in der zugehörigen europäischen technischen Zulassung zu finden • k ist der Beiwert für gerissenen oder ungerissenen Beton [-]; nach bisheriger Erfahrung beträgt der Wert $k_{cr} = 2,3$ für Anwendungen im gerissenen Beton und $k_{ucr} = 3,2$ für Anwendungen im ungerissenen Beton (in Gleichung 10.41 sind entsprechend $\tau_{Rk,cr}$ und k_{cr} bzw. $\tau_{Rk,ucr}$ und k_{ucr} zu kombinieren); • $f_{ck,cube}$ [N/mm²] ist die charakteristische Würfeldruckfestigkeit der Betondruckfestigkeitsklasse unter Berücksichtigung der Grenzen nach der relevanten europäischen technischen Zulassung; • s ist der Achsabstand [mm], im Fall von unterschiedlichen Achsabständen ist der Mittelwert der Achsabstände zu verwenden	
$\psi_{s,Np}$	Berücksichtigt die Störung des rotationssymmetrischen Spannungszustandes im Beton durch Bauteilränder; bei Befestigungen mit mehreren Bauteilrändern (z. B. Befestigung in einer Bauteilecke oder in einem schmalen Bauteil) ist der kleinste Randabstand c einzusetzen $\psi_{s,Np} = 0,7 + 0,3 \cdot (c / c_{cr,Np}) \leq 1 \quad [-] \quad (\text{Gl. 10.42})$	
$\psi_{re,Np}$	Berücksichtigt den Einfluss einer dichten Bewehrung für Verankerungstiefen $h_{ef} < 100$ mm: $\psi_{re,Np} = 0,5 + (h_{ef} / 200) \leq 1 \quad [-] \quad (\text{Gl. 10.43})$ Der Schalenabplatzfaktor $\psi_{re,N}$ darf in folgenden Fällen unabhängig von der Verankerungstiefe des Befestigungsmittels zu = 1,0 angesetzt werden: • die Bewehrung (unabhängig vom Durchmesser) ist mit einem Achsabstand ≥ 150 mm angeordnet • die Bewehrung mit einem Durchmesser von maximal 10 mm ist mit einem Achsabstand ≥ 100 mm angeordnet	
$\psi_{ec,Np}$	Berücksichtigt den Einfluss der Lastexzentrizität, wenn unterschiedliche Zuglasten auf die einzelnen Befestigungsmittel einer Gruppenbefestigung wirken; in den Fällen, in denen eine Exzentrizität in zwei Richtungen vorliegt, muss $\psi_{ec,Np}$ für jede Richtung getrennt ermittelt und das Produkt beider Faktoren in die Gleichung eingesetzt werden $\psi_{ec,Np} = 1 / (1 + 2 \cdot e_N / s_{cr,Np}) \leq 1 \quad [-] \quad (\text{Gl. 10.44})$	

Tabelle 10.9/3: Bemessung für kombiniertes Versagen infolge Betonausbruchs und Herausziehens nach TR 029

Für Verankerungen in Bauteilen mit 3 oder mehr Bauteilrändern mit einem Randabstand $c_{\max} \leq c_{cr,Np}$ ($c_{\max}$ = größter Randabstand) liegen die nach Tabelle 10.9 berechneten Tragfähigkeiten auf der sicheren Seite. Für die Ermittlung genauerer Ergebnisse gelten die Regelungen in ETAG 001, Anhang C (vgl. sinngemäß Kapitel 10.3.1.5.1.3 im Anschluss an Tabelle 10.3). Hierbei sind $c_{cr,N} / c'_{cr,N} / s_{cr,N} / s'_{cr,N}$ durch $c_{cr,Np} / c'_{cr,Np} / s_{cr,Np} / s'_{cr,Np}$ zu ersetzen.

10.3.2.5.1.3 Betonausbruch

Der charakteristische Widerstand eines Befestigungsmittels bzw. einer Gruppenbefestigung im Fall von Versagen durch kegelförmigen Betonausbruch kann grundsätzlich nach ETAG 001, Anhang C (vgl. Kapitel 10.3.1.5.1.3) ermittelt werden. Nach TR 029 ist die Betondruckfestigkeit ebenfalls nach DIN EN 206 geregelt, die Anwendungsbedingungen sind weiterhin in den Zulassungsbescheiden angegeben. Da in TR 029 die Verbunddübel nicht auf eine spezielle Verankerungstiefe festgelegt sind, wird in den europäischen technischen Zulassungen ein Bereich angegeben, in dem die Verbunddübel eingesetzt werden dürfen. Dieser geht in der Regel von 4 d bzw. 40 mm bis zu maximal 20 d. Alle weiteren Faktoren können wie bisher nach ETAG 001, Anhang C berechnet werden.

Grundgleichung	$N_{Rk,c} = N_{Rk,c}^0 \cdot (A_{c,N} / A_{c,N}^0) \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{ec,N}$	[N]	(Gl. 10.45)
Ausgangswert	$N_{Rk,c}^0 = k_1 \cdot \sqrt{f_{ck,cube}} \cdot h_{ef}^{1,5}$	[N]	(Gl. 10.46)
k_1 $f_{ck,cube}$ h_{ef} $A_{c,N}^0$ $A_{c,N}$ $\psi_{s,N}$ $\psi_{re,N}$ $\psi_{ec,N}$	Siehe Tabelle 10.3		

Tabelle 10.10: Bemessung für Betonausbruch nach TR 029

Für Verankerungen in Bauteilen mit 3 oder mehr Bauteilrändern mit einem Randabstand $c_{\max} \leq c_{cr,N}$ ($c_{\max}$ = größter Randabstand) liegen die nach Tabelle 10.10 berechneten Tragfähigkeiten auf der sicheren Seite. Für die Ermittlung genauerer Ergebnisse gelten die Regelungen in ETAG 001, Anhang C (vgl. Kapitel 10.3.1.5.1.3 im Anschluss an Tabelle 10.3).

10.3.2.5.1.4 Spalten

Grundsätzlich gelten hier die Ausführungen nach ETAG 001, Anhang C. Auch die Berechnung erfolgt in Anlehnung nach ETA 001, Anhang C (vgl. Kapitel 10.3.1.5.1.4). Im Vergleich zu ETAG 001, Anhang C wurde der Faktor $\psi_{h,sp}$ zur Berücksichtigung der Bauteildicke angepasst, wobei keine Begrenzung ($\leq 1,5$) mehr für diesen Faktor angegeben ist (vgl. Gleichung 10.15 in Tabelle 10.4).

Versagen durch Spalten während der Montage wird grundsätzlich vermieden, wenn die in der jeweiligen europäischen technischen Zulassung angegebenen Mindestwerte für Randabstände c_{min} , Achsabstände s_{min} und Bauteildicke h_{min} und für die erforderliche Bewehrung eingehalten werden.

Versagen durch Spalten während der Belastung muss nicht berücksichtigt werden, wenn

- der Randabstand in allen Richtungen $c \geq 1,2 c_{cr,sp}$ und die Bauteildicke $h \geq 2 h_{min}$ ist.
- die Versagensarten Betonausbruch und Herausziehen für gerissenen Beton berechnet wurden und Bewehrung vorhanden ist, die die Spaltkräfte aufnehmen kann, und die Rissbreite auf $w_k \leq 0,3$ mm begrenzt wird.

Die Werte für die Bauteildicke h_{min} für den charakteristischen Randabstand $c_{cr,sp}$ und den charakteristischen Achsabstand $s_{cr,sp}$ sind in den relevanten europäischen technischen Zulassungen enthalten. Sind die obigen Bedingungen nicht erfüllt, so ist ein Versagen durch Spalten unter Zugbelastung nachzuweisen:

Grundgleichung	$N_{Rk,sp} = N_{Rk,c}^0 \cdot (A_{c,N} / A_{c,N}^0) \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{ec,N} \cdot \psi_{h,sp}$	[N]	(Gl. 10.47)
Ausgangswert	$N_{Rk,c}^0 = k_1 \cdot \sqrt{f_{ck,cube}} \cdot h_{ef}^{1,5}$	[N]	(Gl. 10.48)
$N_{Rk,p}$	Aus der europäischen technischen Zulassung	[N]	
$A_{c,N}^0$ $A_{c,N}$ $\psi_{s,N}$ $\psi_{re,N}$ $\psi_{ec,N}$ h_{ef} $f_{ck,cube}$ k_1	Siehe Tabelle 10.4		
$\psi_{h,sp}$	Berücksichtigt den Einfluss der Bauteildicke auf die Tragfähigkeit bei Spaltversagen $\psi_{h,sp} = (h / h_{min})^{2/3} \leq (2 \cdot h_{ef} / h_{min})^{2/3}$	[-]	(Gl. 10.49)

Tabelle 10.11: Bemessung für Spaltversagen unter Zugbelastung nach TR 029

10.3.2.5.2 Querbeanspruchung

Die erforderlichen Nachweise für die Tragfähigkeit bei einer reinen Querbeanspruchung sind identisch mit denen nach ETAG 001, Anhang C (siehe Kapitel 10.3.1.5.2).

10.3.2.5.2.1 Stahlversagen

Die Ermittlung des charakteristischen Widerstands für Stahlversagen erfolgt analog zu ETAG 001, Anhang C (siehe Kapitel 10.3.1.5.2.1).

10.3.2.5.2.2 Betonausbruch auf der lastabgewandten Seite (Pry-out)

Die Ermittlung des charakteristischen Widerstands für Betonausbruch auf der lastabgewandten Seite erfolgt analog zu ETAG 001, Anhang C (siehe Kapitel 10.3.1.5.2.2).

10.3.2.5.2.3 Betonkantenbruch

Die Berechnung der Versagensart Betonkantenbruch erfolgt analog zu ETAG 001, Anhang C. Aus Gründen der Übersicht werden die Grundgleichung und die Gleichung zur Ermittlung des Ausgangswerts in der folgenden Tabelle 10.12 noch einmal dargestellt (für Details siehe Tabelle 10.7 in Kapitel 10.3.1.5.2.3).

Grundgleichung	$V_{Rk,c} = V_{Rk,c}^0 \cdot (A_{c,V} / A_{c,V}^0) \cdot \psi_{s,V} \cdot \psi_{h,V} \cdot \psi_{ec,V} \cdot \psi_{\alpha,V} \cdot \psi_{re,V}$	[N]	(Gl. 10.50)
Einzelverankerung	$V_{Rk,c}^0 = k_1 \cdot d^\alpha \cdot h_{ef}^\beta \cdot \sqrt{f_{ck,cube}} \cdot c_1^{1,5}$ mit: $\alpha = 0,1 \cdot (h_{ef} / c_1)^{0,5}$ $\beta = 0,1 \cdot (d / c_1)^{0,2}$	[N]	(Gl. 10.51)
	$k_1 = 1,7$ für gerissenen Beton $= 2,4$ für ungerissenen Beton	[-]	
	h_{ef} Nach europäischer technischer Zulassung	[mm]	
	$f_{ck,cube}$ d $A_{c,V}^0$ $A_{c,V}$ $\psi_{s,V}$ $\psi_{ec,V}$ $\psi_{re,V}$ $\psi_{\alpha,V}$ $\psi_{h,V}$	Siehe Tabelle 10.6	

Tabelle 10.12: Bemessung Betonkantenbruch nach TR 029

10.3.2.5.3 Kombinierte Zug- und Querbeanspruchung

Der Nachweis für kombinierte Zug- und Querbeanspruchung erfolgt analog zu ETAG 001, Anhang C (siehe Kapitel 10.3.1.5.3).

10.3.2.6 Zusätzliche Nachweise zur Sicherung der charakteristischen Bauteiltragfähigkeit

10.3.2.6.1 Quertragfähigkeit des Betonbauteils

Die Bemessung der Quertragfähigkeit für das Bauteil erfolgt analog zu ETAG 001, Anhang C (siehe Kapitel 10.3.1.6.1).

10.3.2.6.2 Widerstand gegen Spaltkräfte

Hierzu gelten die Regelungen in ETAG 001, Anhang C (vgl. Kapitel 10.3.1.6.2). Für Verbunddübel, die den vorliegenden Erfahrungen entsprechen, kann als erste Annahme für die Spaltkräfte $F_{Sp,k} = 0,5 \cdot N_{Ek}$ angesetzt werden.

10.3.3 Bemessung nach CEN/TS 1992-4

10.3.3.1 Allgemeines

Die Voraussetzung für die Bemessung nach dieser Vornorm ist (vgl. Kapitel 9.1.1 und 9.5), dass die Befestigungsmittel über eine europäische technische Zulassung (ETA) verfügen und damit im baurechtlichen Sinne ein Verwendungsnachweis vorhanden ist.

Es kann erwartet werden, dass die Vornorm in absehbarer Zeit in wesentlich verkürzter Form in die europäische Norm (DIN) EN 1992-4-1 (vgl. Kapitel 9.5.1 mit Bildern 9.11 und 9.12) übergeht und damit alle anderen Bemessungsleitlinien für Metall- und Verbunddübel in Beton ersetzen werden.

10.3.3.1.1 Anwendungsbereich

Im Folgenden wird auf die Teile 1, 4, und 5 der noch vorliegenden CEN/TS 1992-4 eingegangen und die wichtigsten Inhalte für die Bemessung werden zusammengefasst. Voraussetzung für die Anwendung der CEN/TS-1992-4-Reihe ist, dass

- der Anwendungsbereich der Normenreihe EN 1992 (Eurocode 2, vgl. [29]) gegeben ist. Dies ist dann der Fall, wenn es sich um übliche Hochbauten aus Beton handelt,
- das Anbauteil ausreichend bemessen wurde,
- die Weiterleitung und Verteilung der Lasten im Bauwerk selbst nachgewiesen wurde,
- die Dübel eine europäische technische Zulassung (ETA) besitzen,
- der Dübeldurchmesser $d \geq 6$ mm ist,
- die Mindestverankerungstiefe $h_{ef} \geq 40$ mm bzw. bei Verbunddübeln das Verhältnis $6 \leq h_{ef} / d_{nom} \leq 20$ eingehalten wird,
- der Untergrund aus Normalbeton der Druckfestigkeitsklassen C12/15 bis C90/105 nach EN 206-1 besteht (bzw. der in der ETA angegebene zugelassene Druckfestigkeitsbereich innerhalb dieser Grenzen liegt),
- die Entwurfsnutzungsdauer und erforderliche Feuerwiderstandsdauer des Befestigungsmittels nicht geringer ist als die des Anbauteils und
- bei Ermüdungs- oder Erdbebenbeanspruchungen die Befestigungsmittel nachweislich geeignet sind (siehe Anwendungsbedingungen der jeweiligen ETA).

Sind diese Voraussetzungen erfüllt, können die einzelnen Versagensarten der Verankerungen nach dieser Vornorm bemessen werden.

Für Verankerungen ohne Lochspiel und Verankerungen in der Fläche (Randabstand $> 60 d$ und $> 10 h_{ef}$) dürfen regelmäßige Gruppen mit bis zu 9 Dübeln (ohne Lochspiel) bzw. 8 Dübeln (mit Lochspiel) bemessen werden. Die maximale Anzahl der Dübel pro Reihe ist dabei auf 3 Dübel begrenzt. Bei Verankerungen mit Lochspiel am Bauteilrand dürfen nur Gruppen mit 1 oder 2 bzw. 4 Dübeln ausgeführt werden (Tabelle 10.13).

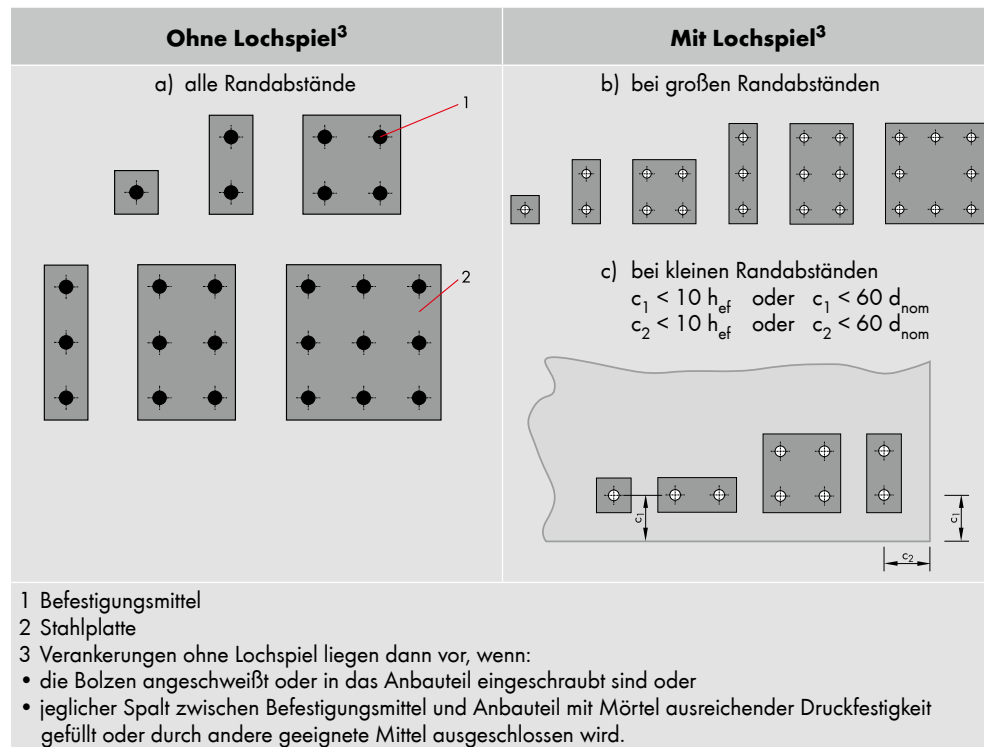


Tabelle 10.13: Zulässige Anordnung von Dübeln in Abhängigkeit von Lochspiel und Randabstand nach CEN TS 1992-4-1

Befestigungen sind nach denselben Prinzipien und Anforderungen zu bemessen, die für Bauwerke gelten und in DIN EN 1990 (vgl. [27]) angegeben sind. Dies gilt auch für Kombinationen von Einwirkungen. Den Sicherheitsfaktoren für den Widerstand und die Dauerhaftigkeit in dieser CEN/TS liegt eine Nennnutzungsdauer der Befestigung von mindestens 50 Jahren zugrunde. Für diesen Zeitraum sind folgende Zustände nachzuweisen:

- Grenzzustand der Tragfähigkeit
- Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit
- Dauerhaftigkeit für die beabsichtigte Verwendung

Die in der Regel günstig wirkenden Reibungskräfte werden bei der Bemessung vernachlässigt, da sie von sehr vielen Faktoren abhängen und nicht allgemein gültig bestimmbar sind. Im Falle von senkrecht zum Bauteilrand querbelasteten Befestigungen entsteht die Reibungskraft zwischen dem Bauteilrand und dem Anbauteil. In diesem Fall kann die Reibung zu einem vorzeitigen Ausbrechen des Bauteilrands führen und den Widerstand der Befestigung ungünstig beeinflussen (Bild 10.11).

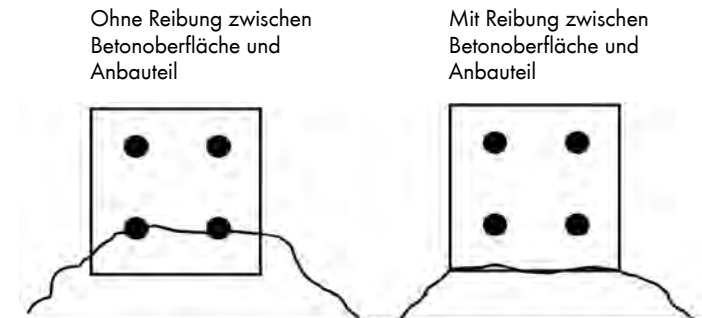


Bild 10.11: Ungünstige Wirkung von Reibung bei der Versagensart Betonkantenbruch querbelasteter Verankerungen

Weiterhin enthält CEN/TS 1992-4 Teil 4 bzw. 5 folgende Anforderungen an die konstruktive Ausbildung und den Zustand der Stahlbetonbauteile, die als Untergrund für die Befestigungsmittel dienen:

- Der Beton ist im Bereich der Verankerung ausreichend verdichtet.
- Das Bohrloch wird senkrecht zur Oberfläche (Abweichung max. 5°) erstellt, ohne die Bewehrung zu beschädigen.
- Fehlbohrungen werden mit hochfestem Mörtel verfüllt.

Die Nachweise zur Tragfähigkeit basieren auf dem Konzept des Grenzzustands, das in Verbindung mit dem Sicherheitskonzept der Teilsicherheitsbeiwerte verwendet wird. Die Zahlenwerte für Teilsicherheitsbeiwerte und andere Parameter, die die Zuverlässigkeit festlegen, gelten als Empfehlungen. Sie können, falls erforderlich, in einem nationalen Anhang abgeändert werden.

Die Teilsicherheitsbeiwerte gelten unter der Voraussetzung, dass

- die Befestigungsmittel eine europäische technische Zulassung besitzen,
- die Montageanleitung sowie alle Informationen, die für eine sachgemäße Montage erforderlich sind, auf der Baustelle oder dem Fertigteilwerk zum Zeitpunkt der Montage verfügbar sind und
- die Montage durch den Einsatz von Personal mit der erforderlichen Erfahrung und Qualifikation sowie unter entsprechender Aufsicht erfolgt.

10.3.3.2 Gerissener und ungerissener Beton

Es darf von ungerissenen Beton ausgegangen werden, wenn nachgewiesen ist, dass sich das Befestigungsmittel unter Gebrauchsbedingungen mit seiner gesamten Verankerungslänge im ungerissenen Beton befindet. Diese Bedingung ist erfüllt, wenn die folgende Gleichung erfüllt wird (Druckspannungen sind dabei mit negativem Vorzeichen einzusetzen):

$\sigma_L + \sigma_R \leq \sigma_{adm}$	(Gl. 10.52)
σ_L	Spannungen im Beton, die durch externe Lasten einschließlich der Lasten aus dem Befestigungsmittel hervorgerufen werden
σ_R	Spannungen im Beton, die durch innere Zwangsverformungen (z. B. Schwinden des Betons) oder durch von außen wirkende Zwangsverformungen (z. B. durch Auflagerverschiebungen oder Temperaturschwankungen) hervorgerufen werden; wird kein genauer Nachweis geführt, sollte $\sigma_R = 3 \text{ N/mm}^2$ angenommen werden
σ_{adm}	Zulässige Betonzugspannung für die Definition von ungerissenem Beton; der Wert σ_{adm} wird im nationalen Anhang zur CEN/TS 1992-4 angegeben; der empfohlene Wert für Deutschland beträgt $\sigma_{adm} = 0 \text{ N/mm}^2$

Bei Betonbauteilen, in denen die Last in 2 Richtungen abgetragen wird (z. B. Platten oder Wände), muss Gleichung 10.52 für beide Tragrichtungen eingehalten werden.

10.3.3.3 Lasteinwirkungen auf die Befestigungsmittel

10.3.3.3.1 Zugbelastung

Die einwirkenden Lasten werden für Metalleinbauten entsprechend ETAG 001, Anhang C, und für Verbunddübel entsprechend TR 029 ermittelt (vgl. Kapitel 10.3.1.3).

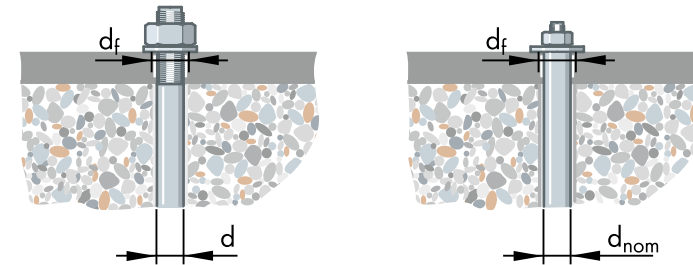
10.3.3.3.2 Querbelastung

Die Lastverteilung hängt davon ab, wie steif die Verankerung ist und ob diese überhaupt mitwirkt. Da in der Regel der Lochdurchmesser in der Ankerplatte größer ist als der Durchmesser der Verankerung, muss eine vereinfachte Lösung herangezogen werden. Das Durchgangsloch ist daher auf ein Maximalmaß d_f (vgl. Kapitel 5.1 mit Tabelle 5.1) begrenzt. Wird diese maximale Größe des Durchgangslochs eingehalten, darf Folgendes angenommen werden:

- Alle Befestigungsmittel nehmen Querlasten auf, wenn der Randabstand groß ist, sodass Stahlbruch oder rückwärtiger Betonausbruch für das Versagen maßgebend wird.
- Nur die randnahen Verankerungen nehmen Lasten auf, wenn der Randabstand klein ist und Betonkantenbruch für das Versagen maßgebend ist.
- Der Dübel wird nicht als lastabtragend betrachtet, wenn der Durchmesser d_f größer ist als in Tabelle 5.1 angegeben oder ein Langloch in Richtung der Querlast angeordnet wurde.

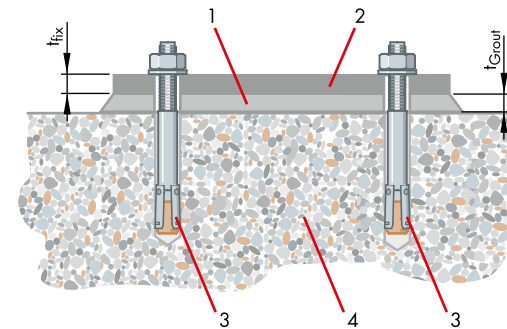
Grundsätzlich können alle Lasten und Momente mithilfe der linear elastischen Statik verteilt und berechnet werden, sodass die Gleichgewichts- und Verträglichkeitsbedingungen erfüllt sind. Die Bemessung darf ohne Berücksichtigung eines Hebelarms erfolgen, wenn alle nachfolgenden Bedingungen erfüllt sind:

- Das Anbauteil muss
 - aus Metall sein und
 - ohne Zwischenlage direkt an der Betonoberfläche befestigt sein
 - oder auf einer Ausgleichsschicht bzw. einem Mörtelbett mit einer Druckfestigkeit $\geq 30 \text{ N/mm}^2$ und einer Dicke $t_{\text{Gruft}} \leq d / 2$ aufliegen (Bild 10.13).
- Das Anbauteil berührt das Befestigungsmittel über eine Länge von mindestens $0,5 t_{\text{fix}}$ (Bild 10.14).
- Der Lochdurchmesser d_f im Anbauteil ist nicht größer als der Wert nach Tabelle 5.1.



a) Bolzen (d) stützt sich gegen das Anbauteil ab, $d_f \leq$ Wert nach Tabelle 5.1 (Kapitel 5.1)
b) Hülse (d_{nom}) stützt sich gegen das Anbauteil ab, $d_f \leq$ Wert nach Tabelle 5.1 (Kapitel 5.1)

Bild 10.12: Beispiele für Befestigungsmitteln mit Lochspiel nach [9]



1 Mörtelbett, 2 Anbauteil, 3 Befestigungsmittel, 4 Beton

Bild 10.13: Ankerplatte mit Mörtelbett nach [9]

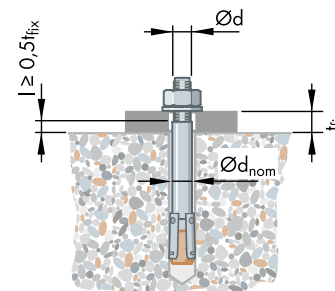


Bild 10.14: Tragende Fläche eines Befestigungsmittels nach [9]

Sind die oben genannten Bedingungen nicht eingehalten, muss die Verankerung auf Biegung nachgewiesen werden.

$M_{Ed} = V_{Ed} \cdot l / \alpha_M$	(Gl. 10.53)
$l = a_3 + e_1$	
$a_3 = 0,5 \cdot d$ bzw. $= 0$, wenn eine Mutter/Unterlegscheibe gegen den Beton gespannt wird (Bild 4.3c) oder wenn eine Mörtelausgleichsschicht mit einer Druckfestigkeit $\geq 30 \text{ N/mm}^2$ und einer Dicke $t_{Grout} \leq d / 2$ vorhanden ist (Bild 10.13)	
e_1 = Abstand zwischen Querlast und Betonoberfläche	
d = Durchmesser des Bolzens	
α_M Hängt vom Einspanngrad des Befestigungsmittels auf der Anbauteilseite bei der jeweiligen Anwendung ab und ist ingenieurmäßig zu beurteilen (vgl. Gleichung 10.17)	

Nehmen alle Dübel Lasten auf, so können die Lasten wie in Bild 10.15 dargestellt verteilt werden.

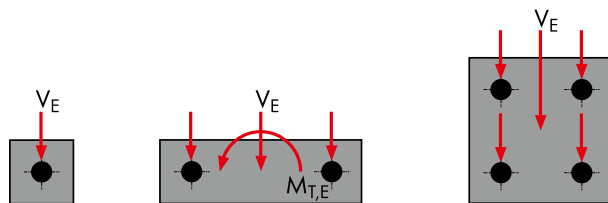
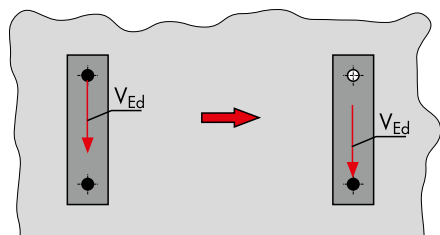


Bild 10.15: Beispiele für die Verteilung der Last, wenn alle Befestigungsmittel Last aufnehmen

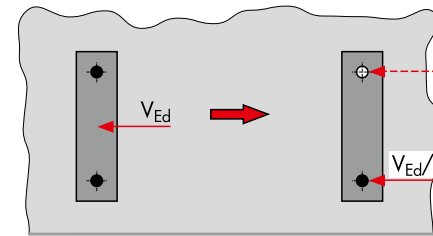
Bei Verankerungen mit 3 Dübeln in Reihe (senkrecht zum Rand angeordnet) werden die Lasten auf alle Verankerungen verteilt, wenn alle Dübel Last aufnehmen können. Können nicht alle Dübel Last aufnehmen, so muss auf der sicheren Seite davon ausgegangen werden, dass nur der randnahe Dübel die Last aufnimmt. Gleiches gilt sinngemäß auch für eine Gruppe mit 4 Dübeln.

Ein auf die Verankerung wirkendes Torsionsmoment wird statisch auf alle Dübel verteilt. Bei einer 2-fachen Verankerung ergibt sich dies durch den Achsabstand, bei einer 4-fachen Verankerung muss die Berechnung über das polare Trägheitsmoment erfolgen. Die Vorgehensweise ist hier identisch mit dem Vorgehen bei der Verteilung der Lasten einer Schraubenverbindung im Stahlbau (vgl. Bild 10.4d).

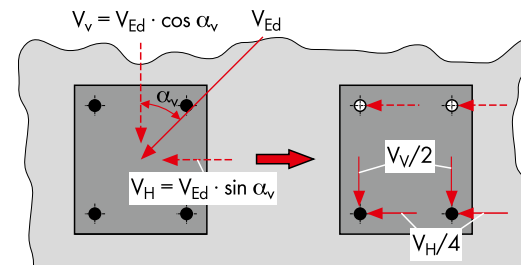
Nehmen nicht alle Dübel innerhalb einer Gruppe Lasten auf, müssen die Lasten unter Berücksichtigung des statischen Gleichgewichts auf die vorderen Dübel verteilt werden, da diese im Zweifelsfall, aufgrund des vorhandenen Lochspiels, die gesamte Last übertragen. Die Lasten, die parallel zum Rand auf die hinteren Dübel wirken, sind für das statische Gleichgewicht zu berücksichtigen, bei der Berechnung des Widerstands dürfen sie vernachlässigt werden (Bild 10.16b und c). Hintergrund ist, dass sie nur in wenigen Fällen die Tragfähigkeit der randnahen Dübel nachteilig beeinflussen.



a) Gruppenbefestigung mit zwei Befestigungsmitteln, Querlast senkrecht zum Rand



b) Gruppenbefestigung mit zwei Befestigungsmitteln, Querlast parallel zum Rand



c) Vierfachbefestigung unter Querlast schräg zum Rand

Bild 10.16: Bestimmung der Querlast, wenn nur die randnahen Befestigungsmittel Last aufnehmen (Betonkantenbruch), Beispiele nach [9]

10.3.3.4 (Material-)Teilsicherheitsbeiwerte

Die zu verwendenden Teilsicherheitsbeiwerte finden sich in DIN EN 1990, Anhang A. Grundsätzlich können sie durch die nationalen Anhänge abweichend geregelt sein. Für die Gebrauchstauglichkeit wird ein Teilsicherheitsbeiwert von $\gamma_M = 1,0$ empfohlen (Deutschland).

Für die (Material-)Teilsicherheitsbeiwerte können die in Kapitel 10.3.1.4 angegebenen Werte übernommen werden. Beim Nachweis der Ermüdung oder der Tragfähigkeit unter Brandbelastung sind die Teilsicherheitsbeiwerte wie in Tabelle 10.14 aufgeführt anzunehmen.

Ermüdung Stahl	$\gamma_{Ms,fat} = 1,35$
Ermüdung Beton	$\gamma_{Mc,fat} = 1,2 \text{ bis } 1,5$
Brand	$\gamma_{F,fi} = \gamma_{M,fi} = 1,0$

Tabelle 10.14: Teilsicherheitsbeiwerte für den Grenzzustand der Tragfähigkeit

10.3.3.5 Ermittlung der Widerstände

10.3.3.5.1 Zugbeanspruchung

Die erforderlichen Nachweise für Metalledübel sind entsprechend ETAG 001, Anhang C durchzuführen (siehe Tabelle 10.2). Für Verbunddübel werden diese entsprechend TR 029 durchgeführt (Tabelle 10.11).

10.3.3.5.1.1 Stahlversagen

Der charakteristische Widerstand $N_{Rk,s}$ eines Befestigungsmittels im Fall von Stahlversagen ist in der jeweiligen europäischen technischen Zulassung angegeben. Der charakteristische Widerstand basiert auf f_{uk} .

10.3.3.5.1.2 Herausziehen

Der charakteristische Widerstand $N_{Rk,p}$ eines Befestigungsmittels bei Herausziehen ist in der jeweiligen europäischen technischen Zulassung angegeben. Ist der Lastangriff innerhalb einer Gruppenbefestigung exzentrisch, ist wie bei Stahlversagen der Nachweis für den höchstbeanspruchten Dübel zu führen.

10.3.3.5.1.3 Kombiniertes Herausziehen und Betonausbruch (nur für Verbunddübel)

Für diese Versagensart gelten die allgemeinen Ausführungen zu Beginn von Kapitel 10.3.2.5.1.1. Ergänzend zum TR 029 wird in CEN/TS 1992-4-5 für Verbunddübel angemerkt, dass der Nachweis nach Gleichung 10.56 (gemäß Tabelle 10.16) nur für den Fall erforderlich ist, dass $\tau_{Rk} < \tau_{Rk,max}$ ist. Die Ermittlung von $\tau_{Rk,max}$ erfolgt nach Gleichung 10.55 in Tabelle 10.15:

Grundgleichung	$\tau_{Rk} < \tau_{Rk,max}$	(Gl. 10.54)
$\tau_{Rk,max}$	$\tau_{Rk,max} = [k_g / (\pi \cdot d)] \cdot \sqrt{h_{ef} \cdot f_{ck,cube}}$ [N/mm ²]	(Gl. 10.55)
τ_{Rk}	Charakteristischer Widerstand des Verbunds, abhängig von der Betonfestigkeitsklasse; Werte nach europäischer technischer Zulassung (ETA) für ungerissenen ($\tau_{Rk,ucr}$) oder gerissenen Beton ($\tau_{Rk,cr}$) [N/mm ²]	
k_g	Beiwert für gerissenen oder ungerissenen Beton, in der relevanten europäischen technischen Zulassung zu finden; nach bisheriger Erfahrung beträgt der Wert $k_g = 7,2$ für Anwendungen im gerissenen Beton und $k_g = 10,1$ für Anwendungen im ungerissenen Beton [-]	
h_{ef}	Effektive Verankerungstiefe [mm]	
$f_{ck,cube}$	Charakteristische Würfeldruckfestigkeit der Betondruckfestigkeitsklasse unter Berücksichtigung der Grenzen nach der relevanten europäischen technischen Zulassung [N/mm ²]	

 Tabelle 10.15: Berechnung $\tau_{Rk,max}$ für Verbunddübel nach CEN/TS 1992-4

Der charakteristische Widerstand eines Befestigungsmittels bzw. einer Gruppenbefestigung im Fall eines kombinierten Versagens durch Herausziehen und Betonausbruch darf wie folgt ermittelt werden:

Grundgleichung	$N_{Rk,p} = N_{Rk,p}^0 \cdot (A_{p,N} / A_{p,N}^0) \cdot \psi_{g,Np} \cdot \psi_{s,Np} \cdot \psi_{re,Np} \cdot \psi_{ec,Np}$ [N]	(Gl. 10.56)
Ausgangswert	$N_{Rk,p}^0 = \tau_{Rk} \cdot \pi \cdot d \cdot h_{ef}$ [N]	(Gl. 10.57)
d	Durchmesser der Ankerstange oder Außendurchmesser bei Innengewindehülsen [mm]	
h_{ef}	Effektive Verankerungstiefe nach europäischer technischer Zulassung [mm]	
$\tau_{Rk}, \tau_{Rk,max}$	Siehe Tabelle 10.15	
$A_{p,N}^0$	Bezugswert der projizierten Fläche (= $s_{cr,Np} \cdot s_{cr,Np}$) vgl. Tabelle 10.9	(Gl. 10.58)

Tabelle 10.16/1: Bemessung für Verbunddübel für kombiniertes Versagen infolge Betonausbruchs und Herausziehens nach CEN/TS 1992-4

$A_{p,N}$	Vorhandene projizierte Fläche, begrenzt durch die Überschneidung der Betonausbruchkörper benachbarter Befestigungsmittel ($s \leq s_{cr,Np}$) sowie durch Bauteilränder ($c \leq c_{cr,Np}$) Die Werte $s_{cr,Np}, c_{cr,Np}$ sind den entsprechenden europäischen technischen Zulassungen zu entnehmen oder wie folgt zu berechnen: $s_{cr,Np} = 7,3d \cdot \sqrt{\tau_{Rk}} \leq 3 \cdot h_{ef} \quad [\text{mm}]$ $c_{cr,Np} = s_{cr,Np} / 2$	
$\psi_{g,Np}$	Berücksichtigt den Einfluss geringer Achsabstände zwischen Befestigungsmitteln innerhalb einer Gruppenbefestigung: $\psi_{g,Np} = \psi_{g,Np}^0 - (s / s_{cr,Np})^{0,5} \cdot (\psi_{g,Np}^0 - 1) \geq 1$ mit: $\psi_{g,Np}^0 = \sqrt{n} - (\sqrt{n} - 1) \cdot (\tau_{Rk} / \tau_{Rk,max})^{1,5} \geq 1$ n ist die Anzahl der chemischen Befestigungen innerhalb einer Gruppenbefestigung; τ_{Rk} ist der charakteristische Widerstand des Verbunds, abhängig von der Betonfestigkeitsklasse; Werte für ungerissenen ($\tau_{Rk,ucr}$) oder gerissenen Beton ($\tau_{Rk,cr}$) sind in der zugehörigen europäischen technischen Zulassung zu finden; [N/mm²] $f_{ck,cube}$ ist die charakteristische Würfeldruckfestigkeit der Betondruckfestigkeitsklasse unter Berücksichtigung der Grenzen nach der relevanten europäischen technischen Zulassung; [N/mm²] s ist der Achsabstand, im Fall von unterschiedlichen Achsabständen ist der Mittelwert der Achsabstände zu verwenden [mm]	(Gl. 10.59) (Gl. 10.60)
$\psi_{s,Np}$	Berücksichtigt die Störung des rotationssymmetrischen Spannungszustands im Beton durch Bauteilränder; bei Befestigungen mit mehreren Bauteilrändern (z. B. Befestigung in einer Bauteilecke oder einem schmalen Bauteil) ist der kleinste Randabstand c einzusetzen $\psi_{s,Np} = 0,7 + 0,3 \cdot (c / c_{cr,Np}) \leq 1$	(Gl. 10.61)
$\psi_{re,N}$	Schalenabplatzfaktor $\psi_{re,N}$ berücksichtigt den Einfluss einer dichten Bewehrung für Verankerungstiefen $h_{ef} < 100$ mm: $\psi_{re,N} = 0,5 + (h_{ef} / 200) \leq 1$ Der Schalenabplatzfaktor $\psi_{re,N}$ darf in folgenden Fällen unabhängig von der Verankerungstiefe des Befestigungsmittels zu 1,0 angesetzt werden: - die Bewehrung (unabhängig vom Durchmesser) ist mit einem Achsabstand ≥ 150 mm angeordnet - die Bewehrung mit einem Durchmesser von maximal 10 mm ist mit einem Achsabstand ≥ 100 mm angeordnet	(Gl. 10.62)

Tabelle 10.16/2: Bemessung für Verbunddübel für kombiniertes Versagen infolge Betonausbruchs und Herausziehens nach CEN/TS 1992-4

$\psi_{ec,Np}$	Berücksichtigt den Einfluss der Lastexzentrizität, wenn unterschiedliche Zuglasten auf die einzelnen Befestigungsmittel einer Gruppenbefestigung wirken; in den Fällen, in denen eine Exzentrizität in zwei Richtungen vorliegt, muss $\psi_{ec,N}$ für jede Richtung getrennt ermittelt und das Produkt beider Faktoren in Gleichung 10.56 eingesetzt werden	
$\psi_{ec,Np} = 1 / (1 + 2 \cdot e_N / s_{cr,Np}) \leq 1$		(Gl. 10.63)

Tabelle 10.16/3: Bemessung für Verbunddübel für kombiniertes Versagen infolge Betonausbruchs und Herausziehens nach CEN/TS 1992-4

Für Verankerungen von Verbunddübeln in Bauteilen mit 3 oder mehr Bauteilrändern mit einem Randabstand $c_{max} \leq c_{cr,Np}$ (c_{max} = größter Randabstand) liegen die nach Tabelle 10.16 berechneten Tragfähigkeiten auf der sicheren Seite. Genauere Ergebnisse werden erzielt, wenn gemäß Kapitel 10.3.3.5.1.6 statt der Verankerungstiefe (h_{ef}) eine virtuelle Verankerungstiefe (h'_{ef}) angesetzt wird. In den Gleichungen 10.72 bis 10.74 sind dafür $c_{cr,N} / c'_{cr,N} / s_{cr,N} / s'_{cr,N}$ durch $c_{cr,Np} / c'_{cr,Np} / s_{cr,Np} / s'_{cr,Np}$ zu ersetzen.

10.3.3.5.1.4 Kegelförmiger Betonausbruch

Der charakteristische Widerstand eines Befestigungsmittels bzw. einer Gruppenbefestigung im Fall von Versagen durch kegelförmigen Betonausbruch wird analog ETAG 001, Anhang C bzw. TR 029 berechnet (vgl. Kapitel 10.3.1.5.1.3 bzw. 10.3.2.5.1.3).

Grundgleichung	$N_{Rk,c} = N_{Rk,c}^0 \cdot (A_{c,N} / A_{c,N}^0) \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{ec,N}$	(Gl. 10.64)
Ausgangswert	mit: $N_{Rk,c}^0 = k_{cr} \cdot \sqrt{f_{ck,cube}} \cdot h_{ef}^{1,5}$ für gerissenen Beton [N] (Gl. 10.65) $N_{Rk,c}^0 = k_{ucr} \cdot \sqrt{f_{ck,cube}} \cdot h_{ef}^{1,5}$ für ungerissenen Beton [N] (Gl. 10.66)	
k_{ucr}	Faktor zur Berücksichtigung des Verankerungsmechanismus für Anwendungen in ungerissenem Beton, der produktspezifische Wert ist in der entsprechenden europäischen technischen Zulassung angegeben	
k_{cr}	Faktor zur Berücksichtigung des Verankerungsmechanismus für Anwendungen in gerissenem Beton, der produktspezifische Wert ist in der entsprechenden europäischen technischen Zulassung angegeben	
$A_{c,N}^0$ $A_{c,N}$ $\psi_{s,N}$ $\psi_{re,N}$ $\psi_{ec,N}$ h_{ef} $f_{ck,cube}$	Siehe Kapitel 10.3.1.5.1.3 mit Tabelle 10.3	

Tabelle 10.17: Bemessung für Betonausbruch nach CEN/TS 1992-4

Für Verankerungen in Bauteilen mit 3 oder mehr Bauteilrändern mit einem Randabstand $c_{max} \leq c_{cr,N}$ (c_{max} = größter Randabstand) liegen die nach Tabelle 10.17 berechneten Tragfähigkeiten auf der sicheren Seite. Genauere Ergebnisse werden erzielt, wenn statt der Verankerungstiefe (h_{ef}) eine virtuelle Verankerungstiefe (h'_{ef}) angesetzt wird (vgl. Kapitel 10.3.3.5.1.6).

10.3.3.5.1.5 Spalten

Versagen durch Spalten während der Montage wird vermieden, wenn die in der jeweiligen europäischen technischen Zulassung angegebenen Mindestwerte für Randabstände c_{min} , Achsabstände s_{min} und die Bauteildicke h_{min} für die erforderliche Bewehrung eingehalten werden.

Versagen durch Spalten während der Belastung braucht nicht berücksichtigt zu werden, wenn

- der Randabstand in alle Richtungen $c \geq 1,0 c_{cr,sp}$ (Einzelverankerung) bzw. $c \geq 1,2 c_{cr,sp}$ (Gruppenverankerung) ist und die minimale Bauteildicke nicht unterschritten wird.
- die Versagensarten Betonausbruch und Herausziehen für gerissenen Beton berechnet wurden und Bewehrung vorhanden ist, die die Spaltkräfte aufnehmen kann, und die Rissbreite auf $w_k = 0,3$ mm begrenzt wird.

Die Werte für die Bauteildicke h_{min} , für den Randabstand $c_{cr,sp}$ und den Achsabstand $s_{cr,sp}$ sind in der entsprechenden europäischen technischen Zulassung angegeben. Sind die obigen Bedingungen nicht erfüllt, so ist ein Versagen durch Spalten unter Zugbelastung wie folgt nachzuweisen:

Grundgleichung	$N_{Rk,sp} = N_{Rk}^0 \cdot (A_{c,N} / A_{c,N}^0) \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{ec,N} \cdot \psi_{h,sp}$	[N] (Gl. 10.67)
N_{Rk}^0	$= \min(N_{Rk,p}, N_{Rk,c}^0)$ In Gleichung 10.67 ist der kleinste Wert von $N_{Rk,p}$ und $N_{Rk,c}^0$ einzusetzen	[N] (Gl. 10.68)
$N_{Rk,p}$	Ist in der jeweiligen europäischen technischen Zulassung angegeben	[N]
Ausgangswert	$N_{Rk,c}^0 = k_{cr} \cdot \sqrt{f_{ck,cube}} \cdot h_{ef}^{1,5}$ für gerissenen Beton [N] (Gl. 10.69) $N_{Rk,c}^0 = k_{ucr} \cdot \sqrt{f_{ck,cube}} \cdot h_{ef}^{1,5}$ für ungerissenen Beton [N] (Gl. 10.70)	
$N_{Rk,p}$	Aus der europäischen technischen Zulassung	
k_{ucr}	Faktor zur Berücksichtigung des Verankerungsmechanismus für Anwendungen in ungerissenem Beton, der produktspezifische Wert ist in der entsprechenden europäischen technischen Zulassung angegeben	
k_{cr}	Faktor zur Berücksichtigung des Verankerungsmechanismus für Anwendungen in gerissenem Beton, der produktspezifische Wert ist in der entsprechenden europäischen technischen Zulassung angegeben	
$f_{ck,cube}$ h_{ef} $A_{c,N}^0$ $A_{c,N}$ $\psi_{s,N}$ $\psi_{re,N}$ $\psi_{ec,N}$	Siehe Tabelle 10.4	
$\psi_{h,sp}$	Berücksichtigt den Einfluss der tatsächlichen Bauteildicke h auf den Widerstand gegen die Versagensart Spalten; er wird für Befestigungsmittel, die den vorhandenen Erfahrungen entsprechen, wie folgt berücksichtigt: $\psi_{h,sp} = (h / h_{min})^{2/3} \leq (2 \cdot h_{ef} / h_{min})^{2/3}$	(Gl. 10.71)

Tabelle 10.18: Bemessung für Spaltversagen unter Zugbelastung nach CEN TS 1992-4

10.3.3.5.1.6 Einfluss eines schmalen Bauteils

Bei Befestigungen mit drei oder mehr Rändern mit einem Randabstand, der geringer ist als $c_{cr,N}$, führt die Berechnung zu Ergebnissen, die auf der sicheren Seite liegen. Genauere Ergebnisse werden erzielt, wenn im Fall von Einzelbefestigungen für die Verankerungstiefe eine virtuelle Verankerungstiefe h'_{ef} verwendet wird:

$$h'_{ef} = (c_{\max} / c_{cr,N}) \cdot h_{ef} \quad (\text{Gl. 10.72})$$

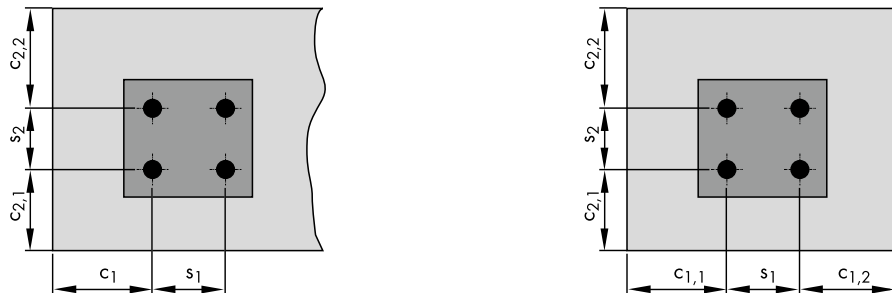
Im Fall von Gruppenbefestigungen wird h_{ef} durch den größeren Wert nach Gleichung 10.73 ersetzt:

$$h'_{ef} = (c_{\max} / c_{cr,N}) \cdot h_{ef} \quad \text{oder} \quad h'_{ef} = (s_{\max} / s_{cr,N}) \cdot h_{ef} \quad (\text{Gl. 10.73})$$

$c_{\max}$ ist der größte Abstand von der Achse des Befestigungsmittels zum Bauteilrand $\leq c_{cr,N}$
 $s_{\max}$ ist der größte Achsabstand der Befestigungsmittel $\leq s_{cr,N}$

Der Wert h'_{ef} wird in die jeweilige Grundgleichung eingesetzt und für die Bestimmung von $A_{c,N}^0$ und $A_{c,N}$ werden anstatt $s_{cr,N}$ und $c_{cr,N}$ die folgenden Werte verwendet:

$$s'_{cr,N} = s_{cr,N} \cdot (h'_{ef} / h_{ef}) \quad \text{oder} \quad c'_{cr,N} = c_{cr,N} \cdot (h'_{ef} / h_{ef}) \quad (\text{Gl. 10.74})$$



a) $(c_1; c_{2,1}; c_{2,2}) \leq c_{cr,N}$
 Bild 10.17: Beispiele für Befestigungen, bei denen h'_{ef} , $s'_{cr,N}$ und $c'_{cr,N}$ nach CEN/TS 1992-4 verwendet werden dürfen

10.3.3.5.2 Querbeanspruchung

Für die Bemessung einer Verankerung auf Querbeanspruchung sind die in ETAG 001, Anhang C angegebenen Nachweise durchzuführen (vgl. Kapitel 10.3.1.5.2).

10.3.3.5.2.1 Stahlversagen

Der Widerstand für Stahlversagen wird analog zu ETAG 001, Anhang C ermittelt (vgl. Kapitel 10.3.1.5.2.1).

10.3.3.5.2.2 Rückwärtiger Betonausbruch (Pry-out)

Bei Befestigungen kann die Versagensart Betonausbruch auf der lastabgewandten Seite auftreten. Der entsprechende charakteristische Widerstand $V_{Rk,cp}$ darf nach Gleichung 10.75 berechnet werden. Der kleinste Wert nach Gleichung 10.75 ist maßgebend.

$$V_{Rk,p} = \min(k_3 \cdot N_{Rk,c}; k_3 \cdot N_{Rk,p}) \quad (\text{Gl. 10.75})$$

k_3 ist in der jeweiligen europäischen technischen Zulassung angegeben.
 $N_{Rk,c}$ ist der charakteristische Widerstand für kegelförmigen Betonausbruch, ermittelt nach Kapitel 10.3.3.5.1.4 mit Tabelle 10.17
 $N_{Rk,p}$ ist in der jeweiligen europäischen technischen Zulassung angegeben (vgl. Kapitel 10.3.3.5.1.2) bzw. für Verbunddübel nach Kapitel 10.3.3.5.1.3 mit den Tabellen 10.15 und 10.16 zu ermitteln

10.3.3.5.2.3 Betonkantenbruch

Die Bemessung eines einzelnen Befestigungsmittels oder einer Gruppenbefestigung für die Versagensart Betonkantenbruch stimmt mit der Bemessung nach ETAG 001, Anhang C (Tabelle 10.7) bzw. nach TR 029 (Tabelle 10.12) überein. Aus Gründen der Übersicht wird diese Bemessung in der nachfolgenden Tabelle 10.19 noch einmal auszugsweise dargestellt.

Grundgleichung	$V_{Rk,c} = V_{Rk,c}^0 \cdot (A_{c,V} / A_{c,V}^0) \cdot \psi_{s,V} \cdot \psi_{h,V} \cdot \psi_{ec,V} \cdot \psi_{\alpha,V} \cdot \psi_{re,V}$	[N]	(Gl. 10.76)
Ausgangswert	$V_{Rk,c}^0 = 1,6 \cdot d_{nom}^\alpha \cdot l_f^\beta \cdot \sqrt{f_{ck,cube}} \cdot c_1^{1,5}$	[N]	(Gl. 10.77)
α	$\alpha = 0,1 \cdot (l_f / c_1)^{0,5}$	[-]	(Gl. 10.78)
β	$\beta = 0,1 \cdot (d_{nom} / c_1)^{0,2}$	[-]	(Gl. 10.79)
$f_{ck,cube}$	Charakteristische Würfelzugfestigkeit der Betondruckfestigkeitsklasse unter Berücksichtigung der Grenzen nach europäischer technischer Zulassung	[N/mm ²]	
l_f	Nach europäischer technischer Zulassung: $l_f = h_{ef}$ im Fall eines über die Länge des Dübels einheitlichen Querschnitts $\leq 8 d_{nom}$	[mm]	
d_{nom}	Nenn Durchmesser der Verankerung; bei der Berechnung nach Gleichung 10.77 darf maximal $d_{nom} = 60$ mm für die Berechnung eingesetzt werden	[mm]	
c_1 , $A_{c,V}^0$, $A_{c,V}$, $\psi_{s,V}$, $\psi_{ec,V}$	Siehe Tabelle 10.7		
$\psi_{h,V}$	Berücksichtigt, dass der Widerstand gegen Querlasten nicht proportional zur Bauteildicke, wie beim Verhältnis $A_{c,V} / A_{c,V}^0$ angenommen, abnimmt		
	$\psi_{h,V} = (1,5 \cdot c_1 / h)^{1/2}$	[-]	(Gl. 10.80)
$\psi_{\alpha,V}$	Berücksichtigt den Winkel α_V zwischen der einwirkenden Last V_{sd} und der Richtung senkrecht zur betrachteten freien Bauteilkante bei der Berechnung des Widerstands gegen Betonkantenbruch		
	$\psi_{\alpha,V} = \sqrt{1 / [(\cos \alpha_V)^2 + (0,4 \cdot \sin \alpha_V)^2]} \geq 1,0$	[-]	(Gl. 10.81)
α_V	Winkel zwischen einwirkender Querlast V_{Ed} und einer Linie senkrecht zur Bauteilkante, $0^\circ \leq \alpha_V \leq 90^\circ$		

Tabelle 10.19: Bemessung für Betonkantenbruch nach CEN/TS 1992-4

10.3.3.5.2.4 Einfluss eines schmalen und dünnen Bauteils

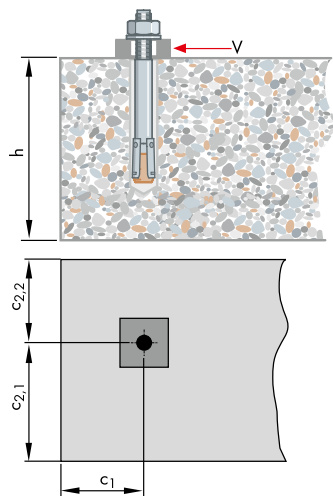
Bei Befestigungen in einem schmalen und dünnen Bauteil mit $c_{2,max} \leq 1,5 c_1$ und $h \leq 1,5 c_1$ (Bild 10.18) führt die Berechnung nach Tabelle 10.19 zu auf der sicheren Seite liegenden Ergebnissen. Genauere Ergebnisse werden erzielt, wenn im Fall einer Einzelbefestigung c_1 auf den größeren Wert von

$c'_1 = \max \left\{ \begin{array}{l} c_{2,max} / 1,5 \\ h / 1,5 \end{array} \right.$	(Gl. 10.82)
$c_{2,max}$ der größere der beiden Randabstände parallel zur Lastrichtung	

begrenzt wird oder im Fall von Gruppenbefestigungen c_1 auf den größten Wert von

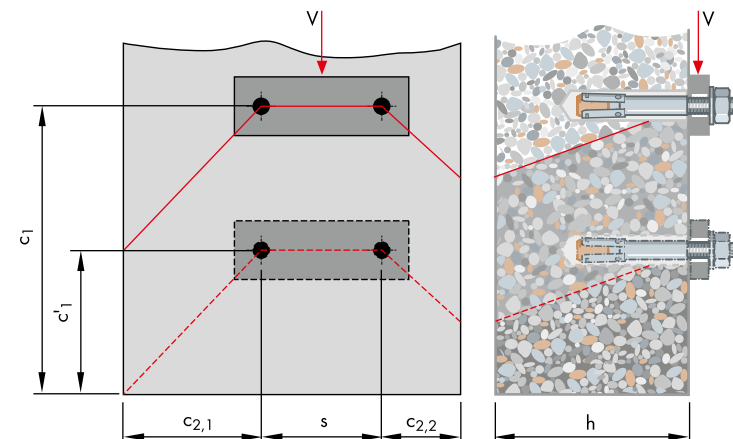
$c'_1 = \max \left\{ \begin{array}{l} c_{2,max} / 1,5 \\ h / 1,5 \\ s_{max} / 3 \end{array} \right.$	(Gl. 10.83)
s_{max} der größte Achsabstand von Befestigungsmitteln innerhalb einer Gruppenbefestigung	

begrenzt wird. Der Wert c'_1 wird in oben stehenden Gleichungen eingesetzt und zur Bestimmung der Flächen $A_{c,V}^0$ und $A_{c,V}$ verwendet.



Wenn $c_{2,1}$ und $c_{2,2} < 1,5 c_1$ und $h < 1,5 c_1$

Bild 10.18: Beispiel für eine Befestigung in einem dünnen, schmalen Bauteil, bei dem der Wert c'_1 nach CEN/TS 1992-4 verwendet werden darf



$s = 100 \text{ mm}$; $c_1 = 200 \text{ mm}$; $h = 120 \text{ mm} < 1,5 \cdot 200 \text{ mm}$;
 $c_{2,1} = 150 \text{ mm} \leq 1,5 \cdot 200$; $c_{2,2} = 100 \text{ mm} \leq 1,5 \cdot 200$; $c'_1 = 150 / 1,5 = 100 \text{ mm}$

Bild 10.19: Beispiel für die Berechnung des Werts c'_1 nach CEN/TS 1992-4

10.3.3.5.3 Kombinierte Zug- und Querbewehrung

Der Nachweis bei kombinierter Zug- und Querbewehrung erfolgt analog zu ETAG 001, Anhang C (siehe Kapitel 10.3.1.5.3).

Aufgrund aktueller Diskussionen in den europäischen Normungsgremien kann erwartet werden, dass in Gleichung 10.30 zukünftig nicht mehr pauschal jeweils der größte Wert von β_N und β_V für die einzelnen Versagensarten einzusetzen ist, sondern dass der Interaktionsnachweis getrennt für Stahlversagen und alle anderen Versagensarten durchgeführt werden kann.

10.3.3.6 Nachweis der Tragfähigkeit des Betonbauteils

10.3.3.6.1 Quertragfähigkeit

Es wird kein zusätzlicher besonderer Nachweis gefordert, wenn eine der nachfolgenden Bedingungen erfüllt ist:

- (1) Die durch den Bemessungswert der Beanspruchungen einschließlich der Lasten aus dem Befestigungsmittel am Auflager verursachte Querkraft V_{Ed} ist

$V_{Ed} \leq 0,8 \cdot V_{Rd,c}$	Bauteil ohne Schubbewehrung	(Gl. 10.84)
$V_{Ed} \leq 0,8 \cdot \min(V_{Rd,s}, V_{Rd,max})$	Bauteil mit Schubbewehrung	(Gl. 10.85)
mit $V_{Rd,c}$, $V_{Rd,s}$, $V_{Rd,max}$ = Widerstand der Querbeanspruchung (nach DIN EN 1992-1-1)		

- (2) Die charakteristische resultierende Zuglast N_{Ek} der zugbeanspruchten Befestigungsmittel beträgt $N_{Ek} \leq 30 \text{ kN}$ und der Achsabstand a zwischen den äußeren Befestigungsmitteln benachbarter Gruppenbefestigungen oder zwischen den äußeren Befestigungsmitteln einer Gruppenbefestigung und Einzelbefestigungen erfüllt die folgende Gleichung:

$\alpha \geq 200 N_{Ek}^{0,5}$	[mm]	(Gl. 10.86)
mit N_{Ek}	[kN]	

(3) Die Lasten der Befestigungsmittel werden von einer Aufhängebewehrung aufgenommen. Ihr Abstand von Einzelbefestigungen oder von den äußeren Befestigungen einer Gruppenbefestigung sollte kleiner sein als h_{ef} . Zudem muss die Rückhängebewehrung die Zugbewehrung umschließen und auf der gegenüberliegenden Bauteilseite verankert sein.

(4) Die Verankerungstiefe des Befestigungsmittels ist $h_{ef} \geq 0,8 h$.

Ist keine der Bedingungen erfüllt, dürfen die Querkraft $V_{Ed,cr}$, die aus den Lasten der Befestigungsmittel entstehen, folgenden Wert nicht überschreiten:

$V_{Ed,cr} \leq 0,4 \cdot V_{Rd,c}$	Bauteil ohne Schubbewehrung	(Gl. 10.87)
$V_{Ed,cr} \leq 0,4 \cdot \min(V_{Rd,s}, V_{Rd,max})$	Bauteil mit Schubbewehrung	(Gl. 10.88)

Bei der Berechnung von $V_{Ed,cr}$ sind die Lasten aus den Befestigungsmitteln als Punktlasten anzunehmen. Die Lasteintragungsbreite beträgt:

$t_1 = s_{i1} + 2 h_{ef}$ und	(Gl. 10.89)
$t_2 = s_{i2} + 2 h_{ef}$	(Gl. 10.90)
mit s_{i1} (s_{i2}) Achsabstand zwischen den äußeren Befestigungsmitteln einer Gruppenbefestigung in Richtung 1 oder 2	

Ist unter den charakteristischen Einwirkungen die resultierende Zuglast N_{Ek} der zugbeanspruchten Befestigungsmittel $N_{Ek} \geq 60$ kN, sind die Bedingungen der zuvor beschriebenen Absätze (3) oder (4) einzuhalten.

10.3.3.6 Spalten

Der Nachweis des Widerstands gegen Spaltkräfte erfolgt analog ETAG 001, Anhang C (vgl. Kapitel 10.3.1.6.2) bzw. TR 029 (vgl. Kapitel 10.3.2.6.2).

10.3.3.7 Nachweis der Dauerhaftigkeit

Liegen in den nationalen Vorschriften des Ausgabebereichs oder in den europäischen technischen Zulassungen keine besseren Informationen vor, dürfen die Bestimmungen nach CEN/TS 1992-4-1 verwendet werden. Diese Bestimmungen basieren auf einer angenommenen Gebrauchsdauer der Befestigungsmittel von 50 Jahren.

- Bedingungen für den Innenraum sind entsprechend der Expositionsklasse XC1 nach DIN EN 1992-1-1 anzunehmen. In der Regel ist kein besonderer Korrosionsschutz für die Stahlteile erforderlich. Die Beschichtungen, die dem Korrosionsschutz vor der Verwendung während der Lagerung dienen und die einwandfreie Funktionsweise sicherstellen, werden als ausreichend betrachtet.
- Bedingungen für äußere atmosphärische Beanspruchung oder in ständig feuchten Innenräumen sind durch die Expositionsklassen XC2, XC3 und XC4 nach DIN EN 1992-1-1 abgedeckt. Im Allgemeinen sollten austenitische Stähle mit mindestens 17 % bis 18 % Chrom und 12 % bis 13 % Nickel sowie zusätzlich

Molybdän (z.B. Werkstoff 1.4401, 1.4404, 1.4571, 1.4578 und 1.4439 nach DIN EN 10088-2, DIN EN 10088-3 oder entsprechende Werkstoffe) verwendet werden.

- Bedingungen für hohe Korrosionsbeanspruchung durch Chloride und Schwefel sind durch die Expositionsklassen XD und XS nach DIN EN 1992-1-1 abgedeckt. Beispiele für diese Bedingungen sind ständiges, wechselndes Eintauchen in Meerwasser oder die Spritzwasserzone von Meerwasser, die Chloratmosphäre in Hallenbädern oder eine Atmosphäre mit extremer chemischer Luftverschmutzung (z.B. in Entschwefelungsanlagen oder Straßentunneln, in denen Taumittel verwendet werden), bei denen der Korrosionswiderstand mit besonderem Augenmerk beachtet werden muss. Im Allgemeinen sollten hier nichtrostende Stähle mit ungefähr 20 % Chrom, 20 % Nickel und 6 % Molybdän, z.B. Werkstoffe der Güten 1.4565, 1.4529 und 1.4547 nach DIN EN 10088-2, DIN EN 10088-3 oder entsprechende Werkstoffe verwendet werden.

10.3.3.8 Nachweis unter Erdbebenbeanspruchung

CEN/TS 1992-4-1, Abschnitt 8, enthält Regelungen für Befestigungsmittel zur direkten Übertragung von Erdbebenlasten aus Zug-, Quer- oder Schrägbeanspruchungen

- als Verbindungsmittel zwischen tragenden Bauteilen oder
- als Verbindungsmittel zwischen nichttragenden und tragenden Bauteilen.

Die Regelungen dürfen unter folgenden Bedingungen angewendet werden:

- Die Dübel besitzen eine europäische technische Zulassung, bei denen in den Anwendungsbedingungen die Anwendung für seismische Belastung erlaubt ist. Bemerkung: Zum Zeitpunkt der Drucklegung dieses Handbuchs lagen jedoch noch keine Zulassungsbescheide für Dübel zum Einsatz unter seismischen Beanspruchungen vor.
- Unter dem Anbauteil befindet sich keine Mörtelschicht.
- Die Befestigung befindet sich nicht im Bereich von plastischen Gelenken.
- Bei der Ermittlung der Lastverteilung auf die einzelnen Dübel einer Gruppenbefestigung wird das Fließen des Anbauteils berücksichtigt.
- Ein Lochspiel zwischen Ankerplatte und Dübel sollte vermieden werden. Gegebenenfalls sind hier gesonderte Betrachtungen anzustellen.
- Die Lastumlagerung und Lastverteilung aufgrund von Durchgangslöchern ist zu berücksichtigen.
- Ein Losdrehen der Mutter oder Schraube wird durch geeignete Maßnahmen verhindert.
- Der Beton in der Umgebung des Befestigungsmittels muss bei der Bestimmung des Bemessungswiderstands als gerissen angesetzt werden.

Der Bemessungswert der auf das Anbauteil wirkenden seismischen Beanspruchung E_d ist nach DIN EN 1998-1 [31] zu bestimmen. Informationen zu ergänzenden Anforderungen in DIN EN 1998-1 hinsichtlich vertikaler Erdbebenbeanspruchungen nichttragender Bauteile enthält CEN/TS 1992-4-1, Anhang E.

Zur Drucklegung dieses Handbuchs wurde die Bemessung unter Erdbebenbeanspruchung in den europäischen Normungsgremien sehr intensiv neu diskutiert. Es ist bereits absehbar, dass der nachfolgend dargestellte Stand der Bemessung gemäß CEN/TS 1992-4-1, Abschnitt 8 bei der Zusammenführung der einzelnen Teile der CEN/TS (vgl. Kapitel 9.5.1) weiter differenziert wird. Die Regelungen werden in Zukunft zum Teil wohl verschärft werden, wobei die nachfolgend aufgeführten Gleichungen als Grundprinzip des Nachweises erhalten bleiben. Für den Fall einer Bemessung einer Verankerung unter Erdbebenbeanspruchung wird daher an dieser Stelle noch einmal ausdrücklich auf Kapitel 10.1 dieses Handbuchs hingewiesen: Für eine ordnungsgemäße bzw. regelkonforme Bemessung muss in jedem Fall die CEN/TS in der aktuellen Fassung mit herangezogen werden, da diese im Zweifelsfall immer maßgebend ist.

Der Bemessungswiderstand $R_{d,eq}$ einer Befestigung unter Erdbebenbeanspruchung ist:

$R_{d,eq} = \alpha_{eq} \cdot (R_{k,eq} / \gamma_M)$	(Gl. 10.91)
$\alpha_{eq} = 0,75$ für Betonversagensarten: kegelförmiger Betonausbruch, Herausziehen, lokaler Betonausbruch (Blow-out) und Spalten unter Zugbeanspruchung; rückwärtiger Betonausbruch und Betonkantenbruch unter Querlast; $= 1,0$ für Stahlversagen; $R_{k,eq}$ ist der charakteristische Widerstand für Erdbebenbeanspruchung für eine vorgegebene Versagensart, nach europäischer technischer Zulassung γ_M Teilsicherheitsbeiwert für das Material	

Für die Bemessung der Dübelbefestigungen zur Verbindung von tragenden Bauteilen stehen 2 Möglichkeiten zur Verfügung:

- Die Dübel werden für die Kraft bemessen, die das Fließen eines duktilen Anbauteils bzw. das Tragvermögen eines spröden Anbauteils bewirkt. Dabei sind Überfestigkeiten zu berücksichtigen. Das heißt, die Lasten auf die Verankerung werden durch das Versagen des Anbauteils begrenzt.
- Das Befestigungsmittel wird für duktilen Stahlversagen bemessen. In diesem Fall versagt das Anbauteil nicht und die Lasten müssen durch die Verankerung aufgenommen werden.

Zur Sicherstellung von duktilem Stahlversagen des Dübels ist folgende Bedingung zu erfüllen:

$R_{k,s,eq} \leq 0,6 \cdot (R_{k,conc,eq} / \gamma_{inst})$	(Gl. 10.92)
$R_{k,s,eq}$ ist der charakteristische Widerstand für Erdbebenbeanspruchung bei Stahlversagen $R_{k,conc,eq}$ ist der charakteristische Widerstand für Erdbebenbeanspruchung für alle Versagensarten (außer Stahlversagen), z. B.: • kegelförmiger Betonausbruch • Herausziehen • lokaler Betonausbruch (Blow-out) • Spalten unter Zugbeanspruchung • rückwärtiger Betonausbruch • Betonkantenbruch unter Querlast γ_{inst} Teilsicherheitsbeiwert für Montage nach europäischer technischer Zulassung.	

Für nichttragende Bauteile darf sprödes Versagen der Befestigung zugelassen werden.

Der Widerstand muss jedoch mindestens den 2,5-fachen Wert der seismischen Einwirkung E_d betragen:

$2,5 \cdot E_d \leq \alpha_{eq} \cdot (R_{k,eq} / \gamma_M)$	(Gl. 10.93)
$\alpha_{eq} = 0,75$ für Betonversagensarten: • kegelförmiger Betonausbruch • Herausziehen • lokaler Betonausbruch (Blow-out) • Spalten unter Zugbeanspruchung • rückwärtiger Betonausbruch und • Betonkantenbruch unter Querlast $= 1,0$ für Stahlversagen	

Der Nachweis des Widerstands für die verschiedenen Versagensarten erfolgt bis auf die Interaktion zwischen Zug- und Querkraften wie bei statischer Beanspruchung. Für die Interaktion ist ein linearer Ansatz nach Gleichung 10.31 bzw. 10.94 zu wählen, wenn die europäische technische Zulassung keine andere Regelung enthält.

$$(N_{Ed,eq} / N_{Rd,eq}) + (V_{Ed,eq} / V_{Rd,eq}) \leq 1 \quad (\text{Gl. 10.94})$$

In Gleichung 10.94 sind die größten Verhältniswerte $N_{Ed,eq} / N_{Rd,eq}$ und $V_{Ed,eq} / V_{Rd,eq}$ für die verschiedenen Versagensarten einzusetzen.

10.4 Bemessung von Kunststoffdübeln nach ETAG 020, Anhang C

10.4.1 Allgemeines

Die ETAG 020 regelt die Verwendung und Bemessung von Kunststoffdübeln in

- Nutzungskategorie „a“: Normalbeton der Festigkeitsklassen C12/15 bis C50/60 nach DIN EN 206-1 [32]
- Nutzungskategorie „b“: Mauerwerk aus Vollsteinen mit höchstens 15 % Lochanteil des Steinquerschnitts (Vollziegel, Kalksandvollsteine und Vollsteine aus Beton)
- Nutzungskategorie „c“: Mauerwerk aus Hohl- oder Lochsteinen (Hochlochziegel, Kalksandlochsteine und -blöcke und Hohlblocksteine aus Beton)
- Nutzungskategorie „d“: Dampfgehärteter Porenbeton der Festigkeitsklassen P2 bis P7 nach DIN EN 771-4 „Porenbetonsteine“ [33] und DIN EN 12602 „Vorgefertigte bewehrte Bauteile aus dampfgehärtetem Porenbeton“ [26]

Vergleiche hierzu auch Kapitel 9.6.3.2 in diesem Handbuch.

Die zugelassenen Verankerungsgründe, Temperaturbereiche sowie Umweltbedingungen sind den jeweiligen Zulassungsbescheiden zu entnehmen.

Für die Bemessung wird aus Vereinfachungsgründen Dübelgruppen (bis zu einer gewissen Größe) unter Zuglasten, Querlasten und kombinierten Zug- und Querlasten derselbe Widerstand zugewiesen, den Einzeldübel unter der jeweiligen Beanspruchungsrichtung besitzen. Dies gilt unabhängig vom Achsabstand zwischen den Dübeln. Erst für größere als in der Zulassung angegebene Abstände (Abstand Gruppenverankerungen) können die Dübel als Einzelverankerung betrachtet werden, wenn die Vorgaben für redundante Systeme erfüllt sind (siehe Kapitel 9.2.3). Die mögliche höhere Tragfähigkeit einer Dübelgruppe kann daher nicht ausgenutzt werden.

10.4.2 Lastannahmen

Die Definition der Einwirkungen auf Kunststoffdübel erfolgt nach den Annahmen und Regelungen wie in CEN/TS 1992-4-1. Diese sind in Kapitel 10.3.3 dieses Handbuches für nachträgliche Befestigungsmittel ausführlich dargestellt.

10.4.3 Teilsicherheitsbeiwerte

Als Materialsicherheitsbeiwert γ_M können folgende Teilsicherheitsbeiwerte verwendet werden, wenn keine anderen Vorschriften vorliegen:

Versagensart	$f_{uk} \leq 800 \text{ N/mm}^2$ und $f_{yk} / f_{uk} \leq 0,8$	$f_{uk} > 800 \text{ N/mm}^2$	$f_{yk} / f_{uk} > 0,8$
Stahlversagen unter Querlast mit und ohne Hebelarm	$\gamma_{Ms} = 1 / (f_{yk} / f_{uk}) \geq 1,25$	$\gamma_{Ms} = 1,5$	$\gamma_{Ms} = 1,5$
Stahlversagen unter Zugbelastung	$\gamma_{Ms} = 1,2 / (f_{yk} / f_{uk}) \geq 1,4$		
Versagen des Kunststoffes	$\gamma_{Mpol} = 2,5$		
Versagen des Dübels in Beton	$\gamma_{Mc} = 1,8$		
Versagen des Dübels in Mauerwerk	$\gamma_{Mm} = 2,5$		
Versagen des Dübels in Porenbeton	$\gamma_{MAAC} = 2,0$		

Tabelle 10.20: Empfohlene Teilsicherheitsbeiwerte für die jeweilige Versagensursache nach ETAG 020, Anhang C

10.4.4 Verankerung von Kunststoffdübeln in Beton

10.4.4.1 Ermittlung des Widerstands

10.4.4.1.1 Zugbeanspruchung

Die erforderlichen Nachweise für die Bemessung von zugbeanspruchten Kunststoffdübeln in Beton sind in Tabelle 10.21 zusammengestellt.

		Einzeldübel	Dübelgruppe	
			höchstbeanspruchtes Befestigungsmittel	Gruppe
Versagen des Spreizelements	Metall (Stahl)	$N_{Ed} \leq N_{Rk,s} / \gamma_{Ms}$	$N_{Ed}^h \leq N_{Rk,s} / \gamma_{Ms}$	
	Kunststoff¹⁾	$N_{Ed} \leq N_{Rk,pol} / \gamma_{Mpol}$	$N_{Ed}^h \leq N_{Rk,pol} / \gamma_{Mpol}$	
Versagen durch Herausziehen		$N_{Ed} \leq N_{Rk,p} / \gamma_{Mc}$	$N_{Ed}^h \leq N_{Rk,p} / \gamma_{Mc}$	
Versagen durch Betonausbruch		$N_{Ed} \leq N_{Rk,c} / \gamma_{Mc}$		$N_{Ed}^g \leq N_{Rk,c} / \gamma_{Mc}$

¹⁾ Gilt auch für Bruch der Kunststoffhülse

Tabelle 10.21: Nachweise für die Bemessung zugbeanspruchter Kunststoffdübel nach ETAG 020, Anhang C

10.4.4.1.1.1 Versagen des Spreizelements

Der charakteristische Widerstand eines zugbeanspruchten Dübels bei Versagen (Bruch) des Spreizelements (Spezialschraube) aus Metall (Stahl) $N_{Rk,s}$ oder Kunststoff $N_{Rk,pol}$ ist in der jeweiligen europäischen technischen Zulassung (ETA) angegeben.

10.4.4.1.1.2 Versagen durch Herausziehen

Der charakteristische Widerstand bei Versagen durch Herausziehen der Dübelhülse aus dem Bohrloch $N_{Rk,p}$ ist der jeweiligen europäischen technischen Zulassung (ETA) zu entnehmen.

10.4.4.1.3 Versagen durch Betonausbruch

Der charakteristische Widerstand eines Dübels bzw. einer Dübelgruppe bei Versagen durch Betonausbruch beträgt:

Grundgleichung	$N_{Rk,c} = 7,2 \cdot \sqrt{f_{ck,cube}} \cdot h_{ef}^{1,5} \cdot (c / c_{cr,N}) \leq N_{Rk,p} \cdot (c / c_{cr,N})$	[N]	(Gl. 10.95)
$f_{ck,cube}$	Charakteristische Betondruckfestigkeit (gemessen an Würfeln), Werte für höchstens C50/60		
$N_{Rk,p}$	In Zulassungsbescheid (ETA) angegeben		
c	Randabstand des äußeren Dübels der Gruppe		
$c_{cr,N}$	Randabstand zur Gewährleistung der Übertragung des charakteristischen Widerstands; im Zulassungsbescheid (ETA) angegeben		
h_{ef}	$= [N_{Rk,p} / (7,2 \cdot f_{ck,cube}^{0,5})]^{1/1,5}$		

Tabelle 10.22: Bemessung für Betonausbruch nach ETAG 020, Anhang C

10.4.4.1.2 Querbeanspruchung

Die erforderlichen Nachweise für die Bemessung von querbeanspruchten Kunststoffdübeln in Beton sind in Tabelle 10.23 zusammengestellt.

		Einzeldübel	Dübelgruppe	
			höchstbeanspruchtes Befestigungsmittel	Gruppe
Versagen des Spreizelements Querlast ohne Hebelarm	Metall (Stahl)	$V_{Ed} \leq V_{Rk,s} / \gamma_{Ms}$	$V_{Ed}^h \leq V_{Rk,s} / \gamma_{Ms}$	
	Kunststoff	$V_{Ed} \leq V_{Rk,pol} / \gamma_{Mpol}$	$V_{Ed}^h \leq V_{Rk,pol} / \gamma_{Mpol}$	
Versagen des Spreizelements Querlast mit Hebelarm	Metall (Stahl)	$V_{Ed} \leq V_{Rk,s} / \gamma_{Ms}$	$V_{Ed}^h \leq V_{Rk,s} / \gamma_{Ms}$	
	Kunststoff	$V_{Ed} \leq V_{Rk,pol} / \gamma_{Mpol}$	$V_{Ed}^h \leq V_{Rk,pol} / \gamma_{Mpol}$	
Betonkantenbruch		$V_{Ed} \leq V_{Rk,c} / \gamma_{Mc}$		$V_{Ed}^g \leq V_{Rk,c} / \gamma_{Mc}$

Tabelle 10.23: Nachweise für die Bemessung querbeanspruchter Kunststoffdübel nach ETAG 020, Anhang C

10.4.4.1.2.1 Versagen des Spreizelements, Querlast ohne Hebelarm

Der charakteristische Widerstand eines querbeanspruchten Dübels ohne Hebelarm bei Versagen (Bruch) des Spreizelements (Spezialschraube) aus Metall (Stahl) $V_{Rk,s}$ oder Kunststoff $V_{Rk,pol}$ ist in dem jeweiligen Zulassungsbescheid (ETA) aufgeführt.

10.4.4.1.2.2 Versagen des Spreizelements, Querlast mit Hebelarm

Der charakteristische Widerstand eines querbeanspruchten Dübels mit Hebelarm bei Versagen (Bruch) des Spreizelements (Spezialschraube) aus Metall (Stahl) oder Kunststoff kann wie folgt berechnet werden:

$V_{Rk,s} = M_{Rk,s} / l$	(Gl. 10.96)
oder	
$V_{Rk,pol} = M_{Rk,pol} / l$	(Gl. 10.97)
l = Hebelarm (ermittelt wie in Tabelle 10.6 unter Gleichung 10.17)	
$M_{Rk,s}$ = entsprechend der europäischen technischen Zulassung	
$M_{Rk,pol}$ = entsprechend der europäischen technischen Zulassung	

10.4.4.1.2.3 Versagen durch Betonkantenbruch

Der charakteristische Widerstand eines Dübels oder einer Dübelgruppe bei Betonkantenbruch errechnet sich folgendermaßen:

Grundgleichung	$V_{Rk,c} = 0,45 \cdot \sqrt{d_{nom}} \cdot (h_{nom} / d_{nom})^{0,2} \cdot \sqrt{f_{ck,cube}} \cdot c_1^{1,5} \cdot [c_2 / (1,5 \cdot c_1)]^{0,5} \cdot [h / (1,5 \cdot c_1)]^{0,5}$	(Gl. 10.98)
	[N]	
d_{nom}	Außendurchmesser des Dübels	[mm]
h_{nom}	Gesamtlänge des Dübels im Verankerungsgrund	[mm]
$f_{ck,cube}$	Charakteristische Betondruckfestigkeit (gemessen an Würfeln)	[N/mm ²]
c_1	Kleinsten Randabstand in Lastrichtung	[mm]
c_2	Randabstand c_2 senkrecht zu Richtung 1 $c_2 < 1,5 c_1$	[mm]
h	Bauteildicke $h < 1,5 c_1$	[mm]

10.4.4.1.3 Kombinierte Zug- und Querbelastung

Bei einer kombinierten Belastung infolge von Zugbelastung und Querbelastung muss der Ausnutzungsgrad β_N infolge der zentrischen Zugbelastung und der Ausnutzungsgrad β_V der Querbelastung berechnet werden:

$\beta_N = N_{Ed} / N_{Rd} \leq 1$	(Gl. 10.99)
$\beta_V = V_{Ed} / V_{Rd} \leq 1$	(Gl. 10.100)
$\beta_N + \beta_V \leq 1,2$	(Gl. 10.101)

β_N bzw. β_V ist das Verhältnis von Bemessungseinwirkung und Bemessungswiderstand bei Zug- bzw. Querbeanspruchung. In Gleichung 10.101 sind die größten Werte von β_N und β_V für die verschiedenen Versagensarten einzusetzen.

10.4.5 Verankerung von Kunststoffdübeln in Mauerwerk und Porenbeton

10.4.5.1 Allgemeines

Die charakteristischen Tragfähigkeiten für die Verankerung von Kunststoffdübeln in Mauerwerk und Porenbeton nach ETAG 020 werden im Rahmen des Zulassungsverfahrens versuchstechnisch ermittelt und ausgewertet und dann in der jeweiligen europäischen technischen Zulassung (ETA) ausgewiesen. Hierbei sind folgende Randbedingungen zu berücksichtigen:

- Die in der jeweiligen ETA angegebene charakteristische Tragfähigkeit F_{Rk} für Kunststoffdübel in einem der Verankerungsgründe aus Nutzungskategorie b, c oder d (vgl. Kapitel 10.4.1) gilt unabhängig von der Lastrichtung (Zug, Querlast oder Schrägzug unter jedem Winkel) und der Versagensart.
- Diese charakteristische Tragfähigkeit gilt für Einzeldübel oder eine Dübelgruppe aus zwei oder vier Dübeln mit einem Achsabstand der Dübel größer oder gleich dem minimalen Achsabstand s_{min} .
- In der ETA werden für jeden Verankerungsgrund der zugehörige Materialteilsicherheitsbeiwert γ_{Mv} , die minimalen zulässigen Rand- und Achsabstände c_{min} und s_{min} sowie die Mindestbauteildicke h_{min} angegeben.
- Der Abstand zwischen einzelnen Kunststoffdübeln bzw. einer Gruppe von Dübeln sollte $a \geq 250$ mm betragen.
- Der Mörtel des Mauerwerks muss mindestens der Druckfestigkeitsklasse M 2,5 gemäß DIN EN 998-2 [34] entsprechen.

Weitere Einzelheiten enthält Kapitel 9.6.3.

10.4.5.2 Tragfähigkeit im Mauerwerk aus Vollsteinen (Nutzungskategorie „b“)

Die in der ETA angegebenen charakteristischen Tragfähigkeiten für Verankerungen von Kunststoffdübeln im Mauerwerk aus Vollsteinen gelten nur für den ausgewiesenen Verankerungsgrund und die ausgewiesenen Steine oder für größere Steine und größere Druckfestigkeiten des Mauerwerks.

Sind auf der Baustelle kleinere Steinformate vorhanden oder ist die Mörteldruckfestigkeit kleiner als der erforderliche Wert, darf die charakteristische Tragfähigkeit des Dübels über Versuche am Bauwerk gemäß Kapitel 9.6.3.5 ermittelt werden.

10.4.5.3 Tragfähigkeit im Mauerwerk aus Hohlblöcken oder Lochsteinen (Nutzungskategorie „c“)

Die in der ETA angegebenen charakteristischen Tragfähigkeiten für Verankerungen von Kunststoffdübeln im Mauerwerk aus Hohlblöcken oder Lochsteinen gelten bezüglich Verankerungsgrund, Steingröße, Druckfestigkeit und Lochbild nur für die ausgewiesenen Steine und Blöcke und die dazugehörige ausgewiesene Gesamtlänge des Dübels im Verankerungsgrund (h_{nom}).

Der Einfluss von größeren Einbindetiefen (vgl. Kapitel 6.6.3) und/oder abweichenden Steinen und Blöcken (bezüglich Verankerungsgrund, Steingröße, Druckfestigkeit und Lochbild) ist durch Versuche am Bauwerk gemäß Kapitel 9.6.3.5 zu ermitteln.

10.4.5.4 Tragfähigkeit in Porenbeton (Nutzungskategorie „d“)

Die ETA kann abhängig vom Dübel und den im Rahmen des Zulassungsverfahrens durchgeführten Versuchen charakteristische Tragfähigkeiten für Verankerungen in ungerissenem Porenbeton (Porenbetonsteinen) und/oder bewehrtem Porenbeton (vorgefertigten bewehrten Bauteilen aus Porenbeton) enthalten.

Generell darf der Dübel dabei nicht in wassergesättigtem Porenbeton eingebaut und verwendet werden. Für vorgefertigte bewehrte Bauteile soll Folgendes berücksichtigt werden, wenn keine speziellen Versuche bzw. keine Berechnungen der Tragfähigkeit des Bauteils aus Porenbeton durchgeführt werden:

- Der Bemessungswert des Querkraftwiderstands des Bauteils, verursacht durch die Verankerung, beträgt höchstens 40 % des Bemessungswerts des Widerstands des Bauteils im kritischen Querschnitt.
- Der Randabstand c muss ≥ 150 mm für Platten mit einer Breite von ≤ 700 mm sein.
- Der Achsabstand der Befestigungspunkte muss $a \geq 600$ mm betragen; dabei kann ein Befestigungspunkt aus einem Dübel oder einer Gruppe aus 2 oder 4 Dübeln bestehen.

10.4.5.5 Verankerungen in Fugen (für Nutzungskategorie b, c und d)

Die Lage der Kunststoffdübel bezüglich der Fugen einer Wand aus Mauerwerk und die Art der Fugen gemäß DIN EN 1996 [30] müssen bei der Bemessung der Verankerung im Mauerwerk berücksichtigt werden. Fugen können sichtbar sein (z. B. bei einer unverputzten Wand) oder nicht sichtbar sein (z. B. eine Wand mit Putzschicht). In der folgenden Tabelle 10.24 sind abhängig von der Art und Sichtbarkeit der Fuge auf der Baustelle geeignete Abminderungsfaktoren angegeben:

Fugen	Charakteristische Tragfähigkeit des Dübels in Abhängigkeit der Fugen (a)	
	Fugen sind sichtbar	Fugen sind nicht sichtbar
Mit Mörtel verfüllt (b) (Stoßfugen und Lagerfugen)	F_{Rk}	$0,5 \cdot F_{Rk}$
Nicht mit Mörtel verfüllt (b) (Stoßfugen)	$0,5 \cdot F_{Rk}$ (c) und $N_{Ed} \leq 2,0$ kN (d)	$0,5 \cdot F_{Rk}$ und $N_{Ed} \leq 2,0$ kN (d)
Verzahnt (Stoßfugen)	F_{Rk}	$0,5 \cdot F_{Rk}$
Verklebt (nur Lagerfugen in Porenbeton)	F_{Rk}	$0,5 \cdot F_{Rk}$
(a) F_{Rk} = charakteristische Tragfähigkeit des Kunststoffdübels im jeweiligen Mauerwerk, angegeben in der ETA		
(b) Die Art bzw. der Zustand der Fuge soll bei der Bemessung der Wand (z. B. planmäßige Verfüllung der Fugen mit Mörtel) oder durch eine zuverlässige Beurteilung bei existierenden Konstruktionen (Bauen im Bestand) bestimmt werden		
(c) Die charakteristische Tragfähigkeit muss nicht auf $0,5 \cdot F_{Rk}$ reduziert werden, wenn der minimal zulässige Randabstand c_{min} zur Stoßfuge eingehalten wird; der minimal zulässige Randabstand c_{min} ist für das jeweilige Mauerwerk in der ETA angegeben		
(d) N_{Ed} muss auf 2,0 kN beschränkt werden, damit das Herausziehen eines einzelnen Steins aus dem Mauerwerksverband verhindert werden kann		

Tabelle 10.24: Charakteristische Tragfähigkeit im Mauerwerk (Nutzungskategorie b, c und d) in Abhängigkeit von der Sichtbarkeit und der Art bzw. des Zustands der Fuge

10.4.6 Beispiele

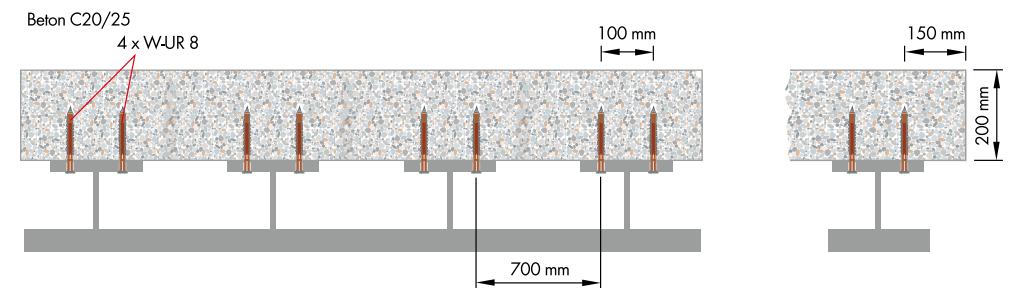
10.4.6.1 Beispiel 1: Verankerung in einer Betondecke (Außenbereich)

Befestigung einer Abhängung mit 3 Befestigungsstellen auf der Deckenunterseite einer Unterföhrung. Die Befestigungsstellen sollen als 4-fache Befestigungen ausgebildet werden. Es soll der maximale Bemessungswert $N_{Ed} = 3$ kN/Befestigungsstelle angesetzt und die Verschiebungen sollen nach einer Lebensdauer von 50 Jahren maximal 0,3 mm betragen.

Befestigungsmittel: W-UR 10 A4 (ETA-08/0190 vom 12. August 2011)
 Achsabstand: $s = 100$ mm
 Randnächster Dübel: $c = 150$ mm

Zwischenabstand der Befestigungsstellen: $a_2 = 700$ mm
 Untergrund: C20/25
 Deckenhöhe: $h = 200$ mm

Maximale Kurzzeitemperatur bis zu 80 °C



10.4.6.1.1 Nachweis des Grenzzustands der Tragfähigkeit

Randbedingungen:

$c = 150$ mm $> c_{min} = 70$ mm
 $> c_{cr,N} = 100$ mm
 $s = 100$ mm $> s_{min} = 50$ mm
 $> s_{cr,N} = 75$ mm
 $h = 200$ mm $> h_{min} = 100$ mm

Widerstand bei Zugbeanspruchung:

- Versagen des Spreizelements:

$N_{Rd,s} = N_{Rk,s} / \gamma_{Ms} = 21,8 / 1,87 = 11,7$ kN pro Dübel
 Vierfachbefestigung: $N_{Rd,s} = 4 \cdot 11,7$ kN = 46,8 kN

$N_{Ed} = 3,0$ kN $\leq N_{Rd,s} = 46,8$ kN

■ Versagen durch Herausziehen:

Für Befestigungsstellen mit $s > 75$ mm gelten die Dübel als Einzeldübel, von denen jeder eine charakteristische Zugtragfähigkeit $N_{Rk,p}$ hat.

$N_{Rk,p} = 3,5$ kN für eine maximale Kurzzeittemperatur von 80°C .

Zweifachbefestigung: $N_{Rd,p} = 4 \cdot N_{Rk,p} / \gamma_{Mp} = 4 \cdot 3,5 / 1,8 = 7,8$ kN

$$N_{Ed} = 3,0 \text{ kN} \leq N_{Rd,p} = 7,8 \text{ kN}$$

■ Betonausbruch für Dübelgruppen:

$$N_{Rd,c} = N_{Rk,p} (c / c_{cr,N}) / \gamma_{Mc} \quad \text{mit } c / c_{cr,N} = 150 / 100 = 1,5 \rightarrow c / c_{cr,N} = 1,0$$

$$N_{Rd,c} = 4 \cdot 3,5 (1,0) / 1,8 = 7,8 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 3,0 \text{ kN} \leq N_{Rd,c} = 7,8 \text{ kN}$$

→ Der Bemessungswert $N_{Ed} = 3$ kN/Befestigungsstelle kann angesetzt werden.

10.4.6.1.2 Nachweis der Gebrauchstauglichkeit

Der Nachweis der Gebrauchstauglichkeit wird für die Langzeitverschiebung geführt.

Die Verschiebung unter Gebrauchslast wird durch lineare Interpolation ermittelt:

Ermittlung der Gebrauchslast aus den Entwurfsgrößen der Einwirkung:

$$\gamma_F \approx (\gamma_G + \gamma_Q) / 2 = (1,35 + 1,5) / 2 = 1,4$$

$$N_{Ek} = N_{Ed} / \gamma_F$$

$$= 3,0 \text{ kN} / 1,4$$

$$= 2,1 \text{ kN} \rightarrow 0,5 \text{ kN/Dübel}$$

Zugbeanspruchung:

$$\delta_N = \delta_{N\infty} \cdot N_{Ek} / N$$

$$= 0,32 \text{ mm} \cdot 0,5 \text{ kN} / 1,8 \text{ kN}$$

$$= 0,1 \text{ mm}$$

$$\delta_N = 0,1 \text{ mm} < 0,3 \text{ mm}$$

Der Gebrauchstauglichkeitsnachweis ist erbracht.

10.4.6.2 Beispiel 2: Verankerung in einer Gebäudeinnenwand

Befestigung einer Abhängung mit 4 Befestigungsstellen an einer Gebäudeinnenwand. Die Befestigungsstellen sollen als Vierfachbefestigungen ausgebildet werden. Die Ankerplatten liegen bündig auf dem tragenden Beton. Der maximale Bemessungswiderstand pro Befestigungsstelle ist gesucht. Die Verschiebungen sollen nach einer Lebensdauer von 50 Jahren maximal 0,5 mm betragen.

Befestigungsmittel: W-UR 8, Stahl verzinkt (ETA-08/0190 vom 12. August 2011), $h_{nom} = 70$ mm

Achsabstand: $s = 100$ mm

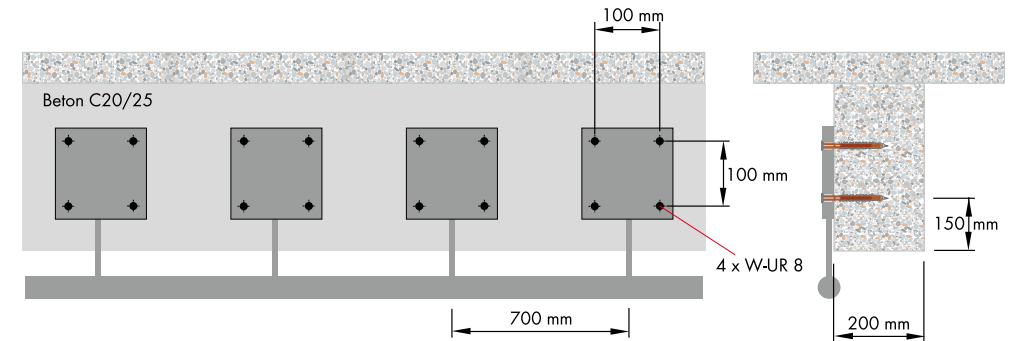
Randnächster Dübel: $c_1 = 150$ mm, $c_2 = 100$ mm

Zwischenabstand der Befestigungsstellen: $a_2 = 700 - 100 = 600$ mm

Ankerplatte: $d = 8,5$ mm

Untergrund: C20/25, Wanddicke $h = 200$ mm

Maximale Kurzzeittemperatur bis zu 80°C



10.4.6.2.1 Nachweis des Grenzzustands der Tragfähigkeit

Randbedingungen:

$$c_1 = 150 \text{ mm} > c_{min} = 50 \text{ mm}$$

$$> c_{cr,N} = 50 \text{ mm}$$

$$c_2 = 100 \text{ mm} > c_{min} = 50 \text{ mm}$$

$$> c_{cr,N} = 50 \text{ mm}$$

$$s = 100 \text{ mm} > s_{min} = 50 \text{ mm}$$

$$h = 200 \text{ mm} > h_{min} = 100 \text{ mm}$$

$$d_f = 8,5 \text{ mm} \leq d_f = 8,5 \text{ mm}$$

Widerstand bei Querbeanspruchung:

■ Versagen des Spreizelements, Querlast ohne Hebelarm:

Der Nachweis erfolgt ohne Berücksichtigung eines Hebelarms, da die Ankerplatte bündig auf der Betonoberfläche aufliegt und das Durchgangsloch in der Ankerplatte $d_f \leq 8,5$ mm beträgt.

$$V_{Rd,s} = V_{Rk,s} / \gamma_{Ms} = 5,9 / 1,25 = 4,7 \text{ kN}$$

Für die Vierfachbefestigung darf nur der Wert einer Einzelbefestigung in Ansatz gebracht (vgl. Kapitel 10.4.1)!

■ Betonkantenbruch:

Es ist der Dübel in der Ecke zu untersuchen, da er durch 2 Ränder beeinflusst wird.

$$V_{Rk,c} = 0,45 \cdot \sqrt{d_{nom}} \cdot (h_{nom} / d_{nom})^{0,2} \cdot \sqrt{f_{ck,cube}} \cdot c_1^{1,5} \cdot [c_2 / (1,5 \cdot c_1)]^{0,5} \cdot [h / (1,5 \cdot c_1)]^{0,5} \quad [\text{N}]$$

$$V_{Rk,c} = 0,45 \cdot \sqrt{8} \cdot (70 / 8)^{0,2} \cdot \sqrt{25} \cdot 150^{1,5} \cdot [100 / (1,5 \cdot 150)]^{0,5} \cdot [200 / (1,5 \cdot 150)]^{0,5} = 11,3 \text{ kN}$$

mit:

$$[100 / (1,5 \cdot 150)]^{0,5} = 0,67 \leq 1$$

$$[200 / (1,5 \cdot 150)]^{0,5} = 0,94 \leq 1$$

$$V_{Rd,c} = V_{Rk,c} / \gamma_{Mc} = 11,3 / 1,8 = 6,3 \text{ kN}$$

Der maximale Bemessungswiderstand wird durch die Versagensart Stahlbruch bestimmt und beträgt

$$V_{Rd} = 4,7 \text{ kN.}$$

10.4.6.2.2 Nachweis des Grenzzustands der Gebrauchstauglichkeit

Der Nachweis der Gebrauchstauglichkeit wird für die Langzeitverschiebung geführt. Das Durchgangsloch in der Ankerplatte entspricht dem Außendurchmesser des Dübels. Daher kann davon ausgegangen werden, dass sich alle Dübel gleichzeitig an der Lastabtragung beteiligen.

Die Verschiebung unter Gebrauchslast wird durch lineare Interpolation ermittelt:

Ermittlung der Gebrauchslast aus den Entwurfsgrößen der Einwirkung:

$$\gamma_F \approx (\gamma_G + \gamma_Q) / 2 = (1,35 + 1,5) / 2 = 1,4$$

$$\begin{aligned} V_{Ek} &= V_{Ed} / \gamma_F \\ &= 4,7 \text{ kN} / 1,4 \\ &= 3,4 \text{ kN} \Rightarrow 3,4 / 4 = 0,85 \text{ kN/Dübel} \end{aligned}$$

Querbearbeitung:

$$\begin{aligned} \delta_V &= \delta_{V\infty} \cdot V_{Ek} / V + d_F \\ &= 1,86 \text{ mm} \cdot 0,85 \text{ kN} / 2,4 \text{ kN} + 0 \text{ mm} \\ &= 0,67 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\delta_V = 0,67 \text{ mm} > 0,5 \text{ mm}$$

Die Gebrauchstauglichkeitsnachweis ist gerade nicht erbracht! Daher ist der maximale Bemessungswiderstand auf $V_{Rd} = 0,5 / 0,67 \cdot 4,7 \text{ kN} = 2,9 \text{ kN}$ zu begrenzen.

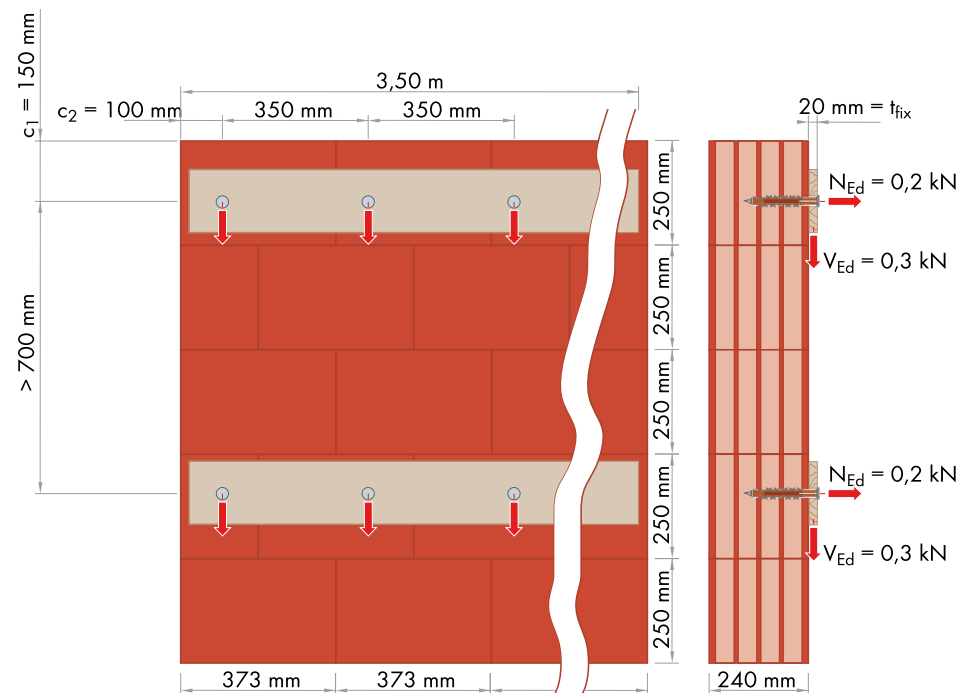
10.4.6.3 Beispiel 3: Verankerung in einer HLz-Außenwand

Befestigung der Lattung für eine Fassadenunterkonstruktion an einer unverputzten Wand aus Hochlochziegeln. Die Holzlatten mit einer Länge von 3,50 m sollen mit einzelnen Dübeln befestigt werden. Die Latten liegen bündig auf dem tragenden Mauerwerk. Für die im Bild auf Seite 245 dargestellte Konstruktion sollen für die angegebenen Einwirkungen die Tragfähigkeit und die Gebrauchstauglichkeit nachgewiesen werden. Die Verschiebungen sollen nach einer Lebensdauer von 50 Jahren maximal 0,3 mm betragen.

Befestigungsmittel: W-UR 8, nichtrostender Stahl (ETA-08/0190 vom 12. August 2011)
Bohrverfahren: Drehbohren
Achsabstand: $a_2 = 350 \text{ mm}$
Randnächster Dübel: $c_1 = 150 \text{ mm}, c_2 = 100 \text{ mm}$

Zwischenabstand der Befestigungsstellen: $a_1 = 700 \text{ mm}$

Holzlatte: $t_{fix} = 20 \text{ mm}, l = 3,50 \text{ m}$
Untergrund: HLz 12, $f_b \geq 12 \text{ N/mm}^2$, ETA-08/0190, Anhang 16
Verzahnte Stoßfugen nicht vermörtelt
Maximale Kurzzeittemperatur bis zu 80°C



10.4.6.3.1 Nachweis des Grenzzustands der Tragfähigkeit

Randbedingungen:

$$\begin{aligned} c_1 &= 150 \text{ mm} > c_{\min} = 45 \text{ mm} \\ c_2 &= 100 \text{ mm} > c_{\min} = 45 \text{ mm} \\ a_2 &= 350 \text{ mm} > a = 250 \text{ mm} \\ a_1 &= 700 \text{ mm} > a = 250 \text{ mm} \\ h &= 200 \text{ mm} > h_{\min} = 240 \text{ mm} \end{aligned}$$

Bohrverfahren: Drehbohren, d. h., Versuche am Bauwerk sind nicht erforderlich, da in der ETA-08/0190 (Bescheid vom 12. August 2011), Anhang 16 charakteristische Tragfähigkeiten für den angegebenen Stein ausgewiesen werden.

Einwirkungen je Befestigungsstelle:

$$\begin{aligned} N_{Ed} &= 0,2 \text{ kN} \\ V_{Ed} &= 0,3 \text{ kN} = 300 \text{ N} \\ F_{Ed} &= (0,2^2 + 0,3^2)^{0,5} = 0,36 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{Anzahl der Dübel/Latte: } n_1 = 3500 \text{ mm} / 350 \text{ mm} = 10$$

$$\text{Anzahl der Dübel/Befestigungsstelle: } n_2 = 1$$

Mit $n_1 \geq 4$ und $n_2 \geq 1$ gilt $n_3 \leq 4,5 \text{ kN}$.

Dies bedeutet, dass der Entwurfswert der Einwirkung auf $N_{Ed} \leq 4,5 \text{ kN/Befestigungsstelle}$ begrenzt ist.

$$\text{Vorh. } N_{Ed} = 0,2 \text{ kN} \leq 4,5 \text{ kN}$$

Widerstand bei Querbeanspruchung mit Hebelarm:

Das Anbauteil ist aus Holz. Daher ist der Nachweis für Querbeanspruchung mit Hebelarm zu führen:

Hebelarm: $l = 0,5 d + e = 0,5 \cdot 8 \text{ mm} + 20 \text{ mm} / 2 = 14 \text{ mm} = 0,014 \text{ m}$

$$M_{Ed} = 300 \text{ N} \cdot 0,014 \text{ m} = 4,2 \text{ Nm}$$

$$M_{Ed} = 4,2 \text{ Nm} \leq M_{Rd} = M_{Rk,s} / \gamma_{Ms} = 10,3 \text{ Nm} / 1,56 = 6,6 \text{ Nm}$$

Widerstand gegen die resultierende Einwirkung:

Die Beschränkung der Tragfähigkeit auf $N_{Ed} = 2,0 \text{ kN}$ kann entfallen, da die unvermörtelten Stoßfugen eine Verzahnung aufweisen.

Die Lagerfugen sind sichtbar, sodass eine Reduzierung der charakteristischen Dübeltragfähigkeit auf $0,5 \cdot F_{Rk}$ nicht erforderlich ist.

$$F_{Ed} = 0,36 \text{ kN} \leq F_{Rd} = F_{Rk} / \gamma_{Mm} = 1,2 / 2,5 = 0,48 \text{ kN}$$

Nachweis des Grenzzustands der Tragfähigkeit für den W-UR 8 ist erbracht.

10.4.6.3.2 Nachweis des Grenzzustands der Gebrauchstauglichkeit

Der Nachweis der Gebrauchstauglichkeit wird für die Langzeitverschiebung geführt. Das Durchgangsloch in der Holzplatte entspricht dem Außendurchmesser des Dübels.

Die Verschiebung unter Gebrauchslast wird durch lineare Interpolation ermittelt.

Ermittlung der Gebrauchslast aus den Entwurfsgrößen der Einwirkung:

$$\gamma_F \approx (\gamma_G + \gamma_Q) / 2 = (1,35 + 1,5) / 2 = 1,4$$

$$N_{Ek} = N_{Ed} / \gamma_F = 0,2 \text{ kN} / 1,4 = 0,14 \text{ kN}$$

$$V_{Ek} = V_{Ed} / \gamma_F = 0,3 \text{ kN} / 1,4 = 0,21 \text{ kN}$$

Zugbeanspruchung:

$$\delta_N = \delta_{N\infty} \cdot N_{Ek} / N = 0,7 \text{ mm} \cdot 0,14 \text{ kN} / 2,4 \text{ kN} = 0,04 \text{ mm}$$

Querbeanspruchung:

$$\delta_V = \delta_{V\infty} \cdot V_{Ek} / V + d_F = 1,86 \text{ mm} \cdot 0,21 \text{ kN} / 2,4 \text{ kN} + 0 \text{ mm} = 0,16 \text{ mm}$$

Verschiebung unter Schräglast:

$$\delta_{NV} = (\delta_N^2 + \delta_V^2)^{0,5} = (0,04^2 + 0,16^2)^{0,5} = 0,17 \text{ mm} < 0,3 \text{ mm}$$

Der Gebrauchstauglichkeitsnachweis ist erbracht.

10.5 Bemessung für Metall-Injektionsdübel in Mauerwerk nach ETAG 029, Anhang C

10.5.1 Allgemeines

ETAG 029 regelt die Verwendung und Bemessung von Metall-Injektionsdübel zur Verankerung in Mauerwerk aus Steinen nach DIN EN 771-1 bis 5 unter der Voraussetzung, dass das Mauerwerk nach DIN EN 1996-1-1 [30] ausgebildet und bemessen wurde. Die ETAG 029 gilt für

- Nutzungskategorie „b“: Mauerwerk aus Vollsteinen mit höchstens 15 % Lochanteil des Steinquerschnitts (Vollziegel, Kalksandvollsteine und Vollsteine aus Beton)
- Nutzungskategorie „c“: Mauerwerk aus Hohl- oder Lochsteinen (Hochlochziegel, Kalksandlochsteine und -blöcke und Hohlblocksteine aus Beton)
- Nutzungskategorie „d“: Dampfgehärteter Porenbeton der Festigkeitsklassen P2 bis P7 nach DIN EN 771-4 „Porenbetonsteine“ [33] und DIN EN 12602 „Vorgefertigte bewehrte Bauteile aus dampfgehärtetem Porenbeton“ [26]

Die zugelassenen Verankerungsgründe, Temperaturbereiche sowie Umweltbedingungen sind den jeweiligen Zulassungsbescheiden zu entnehmen.

Zum Einsatz von Verbunddübeln in sicherheitsrelevanten Anwendungen müssen folgende Mindestbedingungen erfüllt sein:

- Der Gewindedurchmesser des Dübels muss mindestens 6 mm entsprechen,
- die Verankerungstiefe 50 mm betragen und
- das Mauerwerk eine Dicke von 100 mm besitzen.
- Der Mörtel des Mauerwerks muss mindestens der Druckfestigkeitsklasse M2,5 gemäß DIN EN 998-2 [34] entsprechen.

Die in den Zulassungsbescheiden angegebenen charakteristischen Werte sind wie bei Kunststoffdübeln nach ETAG 020 (Kapitel 10.4.5) ausschließlich für die dort angegebenen Steine gültig. Die Zulassungsbescheide enthalten die dazugehörigen einzuhaltenden minimalen Rand- und Achsabstände, die sich ebenfalls von Steinart zu Steinart unterscheiden können. Liegen andere Steine vor als im Zulassungsbescheid ausgewiesen, kann der Wert der charakteristischen Tragfähigkeit unter bestimmten Voraussetzungen durch Versuche am Bauwerk ermittelt werden.

10.5.2 Lasteinwirkungen auf die Dübel

Die Definition der Einwirkungen auf Metall-Injektionsdübel in Mauerwerk erfolgt nach den Annahmen und Regelungen, die in ETAG 029, Anhang C bzw. CEN/TS 1992-4-1 (vgl. Kapitel 10.3.3.3) angegeben sind.

10.5.3 Teilsicherheitsbeiwerte für Widerstände

Als Materialsicherheitsbeiwert γ_M können für den Fall, dass keine anderen nationalen Vorschriften vorliegen, folgende Teilsicherheitsbeiwerte in Deutschland verwendet werden:

Die Teilsicherheitsbeiwerte für Stahlversagen mit und ohne Hebelarm entsprechen denen nach ETAG 001, Anhang C (vgl. Kapitel 10.3.1.4, Tabelle 10.1) und CEN TS 1992-4 (vgl. Kapitel 10.3.3.4), sowie den anderen Regelungen der EOTA.

Versagensart	$f_{uk} \leq 800 \text{ N/mm}^2$ und $f_{yk} / f_{uk} \leq 0,8$	$f_{uk} > 800 \text{ N/mm}^2$	$f_{yk} / f_{uk} > 0,8$
Stahlversagen unter Querlast mit und ohne Hebelarm	$\gamma_{Ms} = 1 / (f_{yk} / f_{uk}) \geq 1,25$	$\gamma_{Ms} = 1,5$	$\gamma_{Ms} = 1,5$
Stahlversagen unter Zugbelastung	$\gamma_{Ms} = 1,2 / (f_{yk} / f_{uk}) \geq 1,4$		
Versagen des Dübels in Mauerwerk	$\gamma_{Mm} = 2,5$		
Versagen des Dübels in Porenbeton	$\gamma_{MAAC} = 2,0$		

Tabelle 10.25: Empfohlene Teilsicherheitsbeiwerte für die jeweilige Versagensursache nach ETAG 029, Anhang C

10.5.4 Ermittlung des Widerstands

Nach ETAG 029 können maximal Gruppenverankerungen mit bis zu 4 Dübeln berechnet werden. Die in den Zulassungsbescheiden angegebenen Werte

- für die Mindestrandabstände c_{min} und
- Mindestachsabstände s_{min}
- für Loch- bzw. Vollsteine

sind immer einzuhalten, da ansonsten die Tragfähigkeit deutlich reduziert werden kann und es zu Versagensarten kommt, die durch das Berechnungsverfahren nicht abgedeckt sind. Bei den Versagensarten Stahlbruch unter Zug- und Querbeanspruchung sowie Herausziehen unter Zugbeanspruchung ist der Nachweis des Grenzzustands der Tragfähigkeit für den am höchsten beanspruchten Dübel der Gruppe zu führen.

10.5.4.1 Zugbeanspruchung

Grundsätzlich kann es bei einer Zugbelastung zu einem Stahlversagen oder Herausziehen des Ankers kommen. Darüber hinaus kann die Verankerung durch Herausziehen eines Steins versagen. In Anlehnung an Betonausbruch können die in die Steine eingeleiteten Lasten zu einem Steinausbruch führen.

Die für die Bemessung erforderlichen Nachweise von zugbeanspruchten Verbunddübeln sind in Tabelle 10.26 zusammengestellt.

	Einzeldübel	Dübelgruppe
Stahlversagen	$N_{Ed}^h < N_{Rk,s} / \gamma_{Ms}$	
Herausziehen des Dübels	$N_{Ed}^h < N_{Rk,p} / \gamma_{Mm}$	
Ausbruch des Mauerwerks	$N_{Ed}^h < N_{Rk,b} / \gamma_{Mm}$	$N_{Ed}^g < N_{Rk,b} / \gamma_{Mm}$
Gesamtverankerung		
Herausziehen eines Steins	$N_{Ed} \leq N_{Rk,pb} / \gamma_{Mm}$	
Einfluss von Fugen	$N_{Ed} \leq \alpha_1 N_{Rk,p} / \gamma_{Mm}$	
	$N_{Ed} \leq \alpha_1 N_{Rk,b} / \gamma_{Mm}$	

Tabelle 10.26: Nachweise für die Bemessung zugbeanspruchter Metall-Injektionsdübel in Mauerwerk nach ETAG 029, Anhang C

Für Verankerungen in Porenbeton gilt Tabelle 10.26 unter Ansatz des Teilsicherheitsbeiwerts γ_{MAAC} anstatt von γ_{Mm} .

10.5.4.1.1 Stahlversagen

Der charakteristische Widerstand eines zugbeanspruchten Dübels bei Versagen des Befestigungselements (Gewindestange, Schraube) aus Metall $N_{Rk,s}$ ist in der jeweiligen europäischen technischen Zulassung (ETA) angegeben. Ansonsten kann die Versagensart nach Kapitel 10.3.1.5.1.1 berechnet werden.

10.5.4.1.2 Versagen durch Herausziehen

Der charakteristische Widerstand bei Versagen durch Herausziehen des Verbunddübels bzw. der Dübelhülse aus dem Bohrloch $N_{Rk,p}$ ist der jeweiligen ETA zu entnehmen.

10.5.4.1.3 Versagen durch Ausbruch des Mauerwerks

Der charakteristische Widerstand $N_{Rk,b}$ eines einzelnen Dübels bei Versagen durch Steinausbruch ist in den europäischen technischen Zulassungen angegeben. Werden zwei Dübel in einem Abstand gesetzt, der geringer ist als der in der Zulassung angegebene kritische Abstand $s_{cr,N}$, muss die Tragfähigkeit abgemindert werden.

Für Zweifachbefestigungen gilt unter der Voraussetzung, dass die Fugen mit Mörtel verfüllt und hierdurch die Lastübertragung auf Nachbarsteine gewährleistet ist, eine lineare Abminderung. Die Lasten sind bei einer 2-fachen Verankerung auf das 2-Fache des Einzeldübels begrenzt, wenn der Abstand der beiden Dübel groß genug ist. Der charakteristische Widerstand berechnet sich wie folgt:

$N_{Rk,b}^g = N_{Rk,b} \cdot [1 + (s / s_{cr,N})] \leq 2 \cdot N_{Rk,b}$	(Gl. 10.102)
$N_{Rk,b}$ = nach Zulassungsbescheid (ETA) $N_{Rk,b}^g$ = charakteristischer Widerstand einer Zweifachbefestigung s = Achsabstand der Dübel $s_{cr,N}$ = Achsabstand zur Gewährleistung der Übertragung des charakteristischen Widerstands eines Ankers; nach Zulassungsbescheid (ETA)	

Für Vierfachbefestigungen sind die Achsabstände in beide Richtungen zu berücksichtigen. Auch bei Vierfachverankerungen muss die Fuge vermörtelt sein, damit die Lasten über die Fuge hinweg übertragen werden können. Die Abminderung der Gruppentragfähigkeit erfolgt durch die Multiplikation der linearen Abminderung in jede Richtung.

$N_{Rk,b}^g = N_{Rk,b} \cdot [1 + (s_1 / s_{cr,N})] \cdot [1 + (s_2 / s_{cr,N})] \leq 4 \cdot N_{Rk,b}$	(Gl. 10.103)
---	--------------

Für einen Achsabstand $s = 100 \text{ mm}$ bei einem kritischen Achsabstand $s_{cr,N} = 200 \text{ mm}$ ergibt sich für eine Zweifachverankerung die 1,5-fache Last und für eine Vierfachverankerung ($s_{1,2} = 100 \text{ mm}$) die 2,25-fache Last eines Einzeldübels.

Nach den bisher vorliegenden Erfahrungen kann als Näherungswert für den kritischen Achsabstand Folgendes angenommen werden:

- In Vollsteinen und im Porenbeton $s_{cr,N} = 20 \text{ d}$
- In Lochsteinen entspricht $s_{cr,N}$ der Steinlänge (l_{unif})
- In beliebigen Steinarten muss $s_{cr,N}$ durch Versuche bestimmt werden (wird in der ETA angegeben, wobei gilt: $s_{cr,N} = s_{cr,test}$)

Als Mindestwerte für die Achs- und Randabstände gilt als Näherungswert

- $s_{\min} = c_{\min} \geq 50 \text{ mm} \geq 3 d_0$ für Vollsteine und
- $s_{\min} = c_{\min} \geq 100 \text{ mm} \geq 6 d_0$ für Lochsteine.

10.5.4.1.4 Herausziehen eines Steins

Der charakteristische Widerstand einer Befestigung mit Verbunddübeln kann durch das Herausziehen des als Ankergrund dienenden Steins begrenzt werden. Dabei kann davon ausgegangen werden, dass die Stoßfuge nicht mit Mörtel verfüllt ist. Damit wird der Widerstand für Herausziehen des Steins geringer.

$$N_{Rk,pb} = 2 \cdot l_{brick} \cdot b_{brick} (0,5 \cdot f_{vko} + 0,4 \cdot \sigma_d) \quad (\text{Gl. 10.104})$$

Für den Fall, dass die Stoßfugen nachweislich gefüllt sind (bei Steinen mit Steinverzahnung kann die Fuge als vermörtelt betrachtet werden), gilt:

$$N_{Rk,pb} = 2 \cdot l_{brick} \cdot b_{brick} (0,5 \cdot f_{vko} + 0,4 \cdot \sigma_d) + b_{brick} \cdot h_{brick} \cdot f_{vko} \quad (\text{Gl. 10.105})$$

- $N_{Rk,pb}$ = charakteristischer Widerstand eines Steins gegen Herausziehen
- l_{brick} = Länge des Steins
- b_{brick} = Breite des Steins
- h_{brick} = Höhe des Steins
- σ_d = Druckspannung senkrecht zur Lagerfuge (Bemessungswert)
- f_{vko} = Ausgangswert der Schubfestigkeit nach Tabelle 10.27

Steinart	Mörtelfestigkeit	$f_{vko} [\text{N/mm}^2]$
Ziegel	M 2,5 bis M 9	0,2
	M 10 bis M 20	0,3
Alle anderen Arten	M 2,5 bis M 9	0,15
	M 10 bis M 20	0,2

Tabelle 10.27: Schubfestigkeit der Fugen nach DIN EN 1996 [30]

10.5.4.1.5 Fugeneinfluss

Der Fugeneinfluss ist wie folgt zu berücksichtigen:

- Sind die Fugen des Mauerwerks nicht sichtbar (z.B. verputzte Wand), sind die charakteristischen Tragfähigkeiten $N_{Rk,p}$ und $N_{Rk,b}$ mit dem Faktor $\alpha_1 = 0,75$ zu multiplizieren.
- Sind die Fugen des Mauerwerks sichtbar (z.B. bei einer unverputzten Wand), dürfen die charakteristischen Tragfähigkeiten $N_{Rk,p}$ und $N_{Rk,b}$ nur dann verwendet werden, wenn die Mauerwerksfugen planmäßig mit Mörtel verfüllt werden.
- Sind die Fugen des Mauerwerks sichtbar und sind die Mauerwerksfugen nicht mit Mörtel verfüllt, dürfen die charakteristischen Tragfähigkeiten $N_{Rk,p}$ und $N_{Rk,b}$ nur dann angesetzt werden, wenn der minimale Randabstand $c_{\min}$ zu den Stoßfugen eingehalten wird. Wird der minimale Randabstand $c_{\min}$ nicht eingehalten, sind die charakteristischen Tragfähigkeiten $N_{Rk,p}$ und $N_{Rk,b}$ mit dem Faktor $\alpha_1 = 0,75$ zu multiplizieren.

10.5.4.2 Querbeanspruchung

Die erforderlichen Nachweise für die Bemessung von querbeanspruchten Metall-Injektionsdübeln zur Verankerung im Mauerwerk sind im Folgenden zusammengestellt.

	Einzeldübel	Dübelgruppe
Stahlversagen, Querlast ohne Hebelarm	$V_{Ed}^h < V_{Rk,s} / \gamma_{Ms}$	
Stahlversagen, Querlast mit Hebelarm	$V_{Ed}^h < V_{Rk,s} / \gamma_{Ms}$	
Gesamtverankerung		
Lokales Steinversagen	$V_{Ed} \leq V_{Rk,b} / \gamma_{Mm}$	
Steinkantenbruch	$V_{Ed} \leq V_{Rk,c} / \gamma_{Mm}$	

Tabelle 10.28: Nachweise für die Bemessung bei Querbeanspruchung nach ETAG 029, Anhang C

Für Verankerungen in Porenbeton gilt Tabelle 10.28 unter Ansatz des Teilsicherheitsbeiwerts γ_{MAAC} anstelle von γ_{Mm} .

10.5.4.2.1 Versagen des Befestigungselements, Querlast ohne Hebelarm

Der charakteristische Widerstand eines querbeanspruchten Metall-Injektionsdübels ohne Hebelarm bei Versagen des Befestigungselements (Gewindestange, Schraube) aus Metall $V_{Rk,s}$ ist in dem jeweiligen Zulassungsbescheid (ETA) angegeben. Ansonsten kann er wie folgt berechnet werden:

$$V_{Rk,s} = 0,5 \cdot A_s \cdot f_{uk} \quad (\text{Gl. 10.106})$$

10.5.4.2.2 Versagen des Befestigungselements, Querlast mit Hebelarm

Der charakteristische Widerstand eines querbeanspruchten Verbunddübels mit Hebelarm bei Versagen des Befestigungselements (Gewindestange, Schraube) aus Metall $V_{Rk,s}$ ist:

$$V_{Rk,s} = M_{Rk,s} / l \quad (\text{Gl. 10.107})$$

l = Hebelarm (ermittelt wie in Tabelle 10.6 unter Gleichung 10.17)
 $M_{Rk,s}$ = nach dem jeweiligen Zulassungsbescheid (ETA)

10.5.4.2.3 Lokales Steinversagen

Der charakteristische Widerstand eines querbeanspruchten Verbunddübels bei lokalem Versagen des Steins $V_{Rk,b}$ ist in der jeweiligen europäischen technischen Zulassung (ETA) angegeben.

10.5.4.2.4 Steinkantenbruch

Der charakteristische Widerstand eines querbeanspruchten Verbunddübels bei Steinkantenbruch $V_{Rk,c}$ ist in der jeweiligen europäischen technischen Zulassung (ETA) angegeben. Zur Ermittlung des charakteristischen Widerstands eines Verbunddübels in einem Vollstein oder Porenbeton kann folgende Beziehung herangezogen werden:

Grundgleichung	$V_{Rk,c} = k \cdot \sqrt{d_{nom}} \cdot (h_{nom} / d_{nom})^{0,2} \cdot \sqrt{f_b} \cdot c_1^{1,5}$	[N]	(Gl. 10.108)
d_{nom}	Außendurchmesser des Dübels	[mm]	
h_{nom}	Gesamteinbindelänge des Dübels im Mauerwerk	[mm]	
f_b	Normierte mittlere Druckfestigkeit des Mauersteins	[N/mm ²]	
c_1	Kleinster Randabstand in Lastrichtung	[mm]	
k	$= 0,45$, bei Belastung z. B. schräg zur Kante $= 0,25$, bei Belastung in Richtung der freien Steinkante		

Tabelle 10.29: Bemessung für Querbelastung (Steinkantenbruch) nach ETAG 029, Anhang C

Für Befestigungen in Mauerwerk aus Lochsteinen liegen Erfahrungen vor, die zeigen, dass eine Quertragfähigkeit von ca. 2,5 kN gewährleistet werden kann, wenn der Randabstand mehr als 100 mm beträgt.

Damit darf in Lochsteinen für die Quertragfähigkeit bei Steinkantenbruch folgender Wert angenommen werden:

$$V_{Rk,c} \leq 2,5 \text{ kN für } c_{min} \geq 100 \text{ mm}$$

10.5.4.2.5 Kombinierte Zug- und Querbeanspruchung

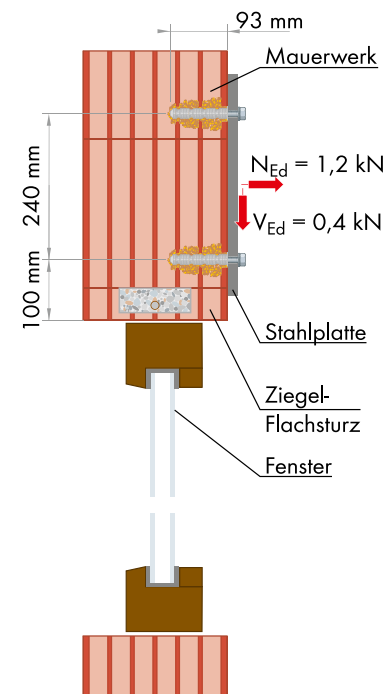
Bei einer kombinierten Belastung infolge von Zugbelastung und Querbelastung muss der Ausnutzungsgrad β_N infolge der zentrischen Zugbelastung und der Ausnutzungsgrad β_V der Querbelastung berechnet werden:

$\beta_N = N_{Ed} / N_{Rd} \leq 1$	(Gl. 10.109)
$\beta_V = V_{Ed} / V_{Rd} \leq 1$	(Gl. 10.110)
$\beta_N + \beta_V \leq 1,2$	(Gl. 10.111)

β_N bzw. β_V ist das Verhältnis zwischen Bemessungseinwirkung und Bemessungswiderstand bei Zug- bzw. Querbeanspruchung. In Gleichung 10.111 ist jeweils der größte Wert von β_N und β_V für die verschiedenen Versagensarten einzusetzen.

10.5.5 Beispiel

Befestigung einer Stahlplatte als Zweifachbefestigung oberhalb eines Fenstersturzes in einem trockenen Innenraum. Die Ankerplatte liegt vollflächig auf dem Verankerungsgrund Mauerwerk auf. Für die im Bild dargestellte Konstruktion soll für die angegebenen Einwirkungen der Nachweis der Tragfähigkeit und der Nachweis der Gebrauchstauglichkeit geführt werden. Die Verschiebungen sollen über die Lebensdauer maximal 1,5 mm betragen.



Gegeben:

Zweifachbefestigung ohne Mörtelbett: $s = 240 \text{ mm}$

Ankerplatte aus Stahl, Lochspiel: $d_f = 1 \text{ mm}$

Mittige Belastung: Schrägzugbeanspruchung unter 45° , $N_{Ed} = 1,2 \text{ kN}$, $V_{Ed} = 0,4 \text{ kN}$

Mauerwerk:

Hochlochziegel 12 DF, Länge $l_{brick} = 373 \text{ mm}$, Breite $b_{brick} = 240 \text{ mm}$, Höhe $h_{brick} = 238 \text{ mm}$, $f_b \geq 12 \text{ N/mm}^2$

Mörtelfestigkeit M 2,5, trockener Innenraum, trockenes Bohrloch

Alle Fugen sind sichtbar und mit Mörtel verfüllt.

Stahlplatte $t = 10 \text{ mm}$, Durchgangsloch $d_f = 14 \text{ mm}$ auf dem Mauerwerk aufliegend

Verbunddübel WIT-VM 200 M12, Stahlgüte 5.8, mit Siebhülse, $h_{ef} = 93 \text{ mm}$, ETA XXX¹⁾

Abstand zur Steinkante in Querlastrichtung: $c = 100 \text{ mm}$

Einwirkungen:

Last je Dübel:

$$N_{Ed,1} = 1,2 \text{ kN} / 2 = 0,6 \text{ kN, da mittige Beanspruchung}$$

$$V_{Ed,1} = 0,4 \text{ kN} / 2 = 0,2 \text{ kN, da mittige Beanspruchung}$$

$$\text{Druckspannung senkrecht zur Lagerfuge: } \sigma_d = 1 \text{ N/mm}^2$$

¹⁾ Hinweis: Zum Zeitpunkt der Drucklegung war die ETA für das Würth Injektionssystem WIT-VM 200 noch nicht erteilt und daher noch keine ETA-Nummer vorhanden. Die Werte wurden dem Zulassungsentwurf entnommen und können deshalb von der später erteilten ETA abweichen.

10.5.5.1 Beispiel einer Zweifachbefestigung mit Verbunddübeln in Mauerwerk

Nachweis für den Grenzzustand der Tragfähigkeit nach Bemessungsverfahren A:

Widerstand bei Zugbeanspruchung

Versagen des Befestigungselements

Höchstbeanspruchter Dübel mit Stahlgüte 5.8

$$N_{Rk,s} = 33,2 \text{ kN, nach ETA XXX}^{2)}$$

$$\gamma_{Ms} = 1,2 / 0,8 = 1,5 \geq 1,4$$

$$N_{Rd,s} = 33,2 \text{ kN} / 1,5 = 22,1 \text{ kN}$$

Versagen durch Herausziehen:

Höchstbeanspruchter Dübel

$$N_{Rk,p} = 1,5 \text{ kN, nach ETA XXX}^{2)}$$

 Fugen sichtbar und verfüllt: Für $N_{Rk,p}$ gilt $\alpha_i = 1,0$

$$N_{Rd,p} = 1,5 \text{ kN} / 2,5 = 0,6 \text{ kN}$$

Steinausbruch:

$$N_{Rk,b} = 1,5 \text{ kN, nach ETA XXX}^{2)}$$

 Fugen sichtbar und verfüllt: Für $N_{Rk,b}$ gilt $\alpha_i = 1,0$

$$N_{Rk,b}^g = 1,5 \cdot (1 + 240 / 365) = 2,49 \text{ kN} \leq 3,0 \text{ kN} = 2 \cdot 1,5$$

$$N_{Rd,b}^g = 2,49 \text{ kN} / 2,5 = 1 / 2,5 = 2,56 \text{ kN}$$

Herausziehen des Steins:

Annahme des ungünstigen Falls, dass beide Verbunddübel in einem Stein verankert sind

$$N_{Rk,pb} = 2 \cdot 373 \cdot 240 (0,5 \cdot 0,2 + 0,4 \cdot 1) + 240 \cdot 238 \cdot 0,2 = 100944 \text{ N} = 101 \text{ kN}$$

$$N_{Rd,pb} = 101 \text{ kN} / 2,5 = 40,4 \text{ kN}$$

Widerstand bei Querbeanspruchung

Versagen des Befestigungselements:

 Ankerplatte liegt auf dem Mauerwerk auf, d_f nach Tabelle 5.1 ist eingehalten

→ Nachweis für Querlast ohne Hebelarm

Höchstbeanspruchter Dübel:

$$V_{Rk,s} = 16,6 \text{ kN, nach ETA XXX}^{2)}$$

$$V_{Rd,s} = 16,6 \text{ kN} / 1,25 = 13,3 \text{ kN}$$

Lokales Steinversagen:

$$V_{Rk,b} = 6,0 \text{ kN, nach ETA XXX}^{2)}$$

$$V_{Rd,b} = 6,0 \text{ kN} / 2,5 = 2,4 \text{ kN}$$

Steinkantenbruch:

$$V_{Rk,c} = 2,5 \text{ kN, da } c_{\min} \geq 100 \text{ mm}$$

$$V_{Rd,c} = 2,5 \text{ kN} / 2,5 = 1,0 \text{ kN}$$

²⁾ Hinweis: Zum Zeitpunkt der Drucklegung war die ETA für das Würth Injektionssystem WIT-VM 200 noch nicht erteilt und daher noch keine ETA-Nummer vorhanden. Die Werte wurden dem Zulassungsentwurf entnommen und können deshalb von der später erteilten ETA abweichen.

Schrägbeanspruchung:

 Nachweis für β_N

	Bemessungs-widerstand	Bemessungseinwirkung je Dübel	β_N
Versagen des Befestigungselements	$N_{Rd,s} = 22,1 \text{ kN}$	$N_{Ed} = 0,6 \text{ kN}$	0,03
Herausziehen	$N_{Rd,p} = 0,6 \text{ kN}$		1,00
Steinausbruch	$N_{Rd,p}^g = 1,0 \text{ kN}$		0,60
Herausziehen des Steins	$N_{Rd,pb} = 40,4 \text{ kN}$		0,02

 $\beta_N \leq 1$ ist für alle Versagensarten eingehalten.

 Nachweis für β_V

	Bemessungs-widerstand	Bemessungseinwirkung je Dübel	β_V
Versagen des Befestigungs-elements Querlast ohne Hebelarm	$V_{Rd,s} = 16,6 \text{ kN}$	$V_{Ed} = 0,2 \text{ kN}$	0,01
Lokales Steinversagen	$V_{Rd,b} = 2,4 \text{ kN}$		0,08
Steinkantenbruch	$V_{Rd,c} = 1,0 \text{ kN}$		0,20

 $\beta_V \leq 1$ ist für alle Nachweise eingehalten.

 Interaktion: $\beta_N + \beta_V \leq 1,2$

 Maßgebend werden β_N für Steinausbruch und β_V für Steinkantenbruch:

$$1,00 + 0,20 = 1,20 \leq 1,2$$

10.5.5.2 Nachweis des Grenzzustands der Gebrauchstauglichkeit

Der Nachweis der Gebrauchstauglichkeit wird für die Langzeitverschiebung geführt.

Die Verschiebung unter Gebrauchslast wird durch lineare Interpolation ermittelt.

Ermittlung der Gebrauchslast aus den Entwurfsgrößen der Einwirkung:

$$\gamma_F \approx (\gamma_G + \gamma_Q) / 2 = (1,35 + 1,5) / 2 = 1,4$$

$$N_{Ek} = N_{Ed} / \gamma_F = 1,2 \text{ kN} / 1,4 = 0,86 \text{ kN} \rightarrow 0,43 \text{ kN} / \text{Dübel}$$

$$V_{Ek} = V_{Ed} / \gamma_F = 0,40 \text{ kN} / 1,4 = 0,3 \text{ kN} \rightarrow 0,15 \text{ kN} / \text{Dübel}$$

Zugbeanspruchung:

$$\delta_N = \delta_{N\infty} \cdot N_{Ek} / N_{\max} = 3 \cdot 0,43 \text{ kN} / (22,1 / 1,4) = 0,08 \text{ m}$$

Querbeanspruchung:

$$\delta_V = \delta_{V\infty} \cdot V_{Ek} / V_{max} + d_F = 3 \cdot 0,15 / (16,6 / 1,4) + 0 = 0,04 \text{ m}$$

Verschiebung unter Schräglast:

$$\delta_{NV} = (\delta_N^2 + \delta_V^2)^{0,5} = (0,08^2 + 0,04^2)^{0,5} = 0,01 \text{ mm}$$

$$\delta_{NV} = 0,01 \text{ mm} \leq 1,5 \text{ mm}$$

Der Gebrauchstauglichkeitsnachweis ist eingehalten.

Der gewählte Verbunddübel kann unter der Voraussetzung der fachgerechten Montage die Lasten über die 2-fach Befestigung in den Untergrund eintragen.

10.6 Bemessung unter Brandbeanspruchung

10.6.1 Allgemeines

Bei der Bemessung einer Verankerung für eine Brandbeanspruchung wird davon ausgegangen, dass die Bemessungskonzepte für den „kalten“ Zustand weiterhin gelten und lediglich die Widerstände reduziert werden. In der Regel wird bei der Bemessung zwischen dem „kalten“ Zustand (Bemessung für Normaltemperatur) und „heißem“ Zustand (Bemessung im Brandfall) unterschieden.

Es wird also davon ausgegangen, dass sich der grundlegende Tragmechanismus nicht ändert, sondern dass die Festigkeit der Baustoffe (Beton, Stahl, ...) durch die Erwärmung abnimmt. Die Abnahme der Festigkeit mit zunehmender Temperatur gilt für alle üblichen Baustoffe. Die Abnahme der Festigkeit ist jedoch sehr unterschiedlich.

Bei der Bemessung nach EOTA Technical Report TR 020 [55] und CEN/TS 1992-4-1 wird vorausgesetzt, dass der Brandwiderstand des Anbauteils mindestens dem des Dübels entspricht und damit dieses nicht vor der Verankerung versagt. Im Fall einer Brandbelastung sind für den heißen Zustand folgende Nachweise zu führen:

$E_{d,fi} \leq R_{d,fi(t)}$	(Gl. 10.112)
$E_{d,fi}$ Bemessungswert der Einwirkung unter Brandbeanspruchung $= E_{k,fi} \cdot \gamma_{F,fi}$	(Gl. 10.113)
$E_{k,fi}$ Charakteristischer Wert der Einwirkung unter Brandbeanspruchung $\gamma_{F,fi}$ Teilsicherheitsbeiwert der Einwirkung unter Brandbeanspruchung $R_{d,fi(t)}$ Bemessungswert des Widerstands unter Brandbeanspruchung $= R_{k,fi(t)} / \gamma_{M,fi}$	(Gl. 10.114)
$R_{k,fi(t)}$ Charakteristischer Wert des Widerstands unter Brandbeanspruchung $\gamma_{M,fi}$ Teilsicherheitsbeiwert für Werkstoffe und Brandbeanspruchung	

Die Teilsicherheitsbeiwerte können in den jeweiligen europäischen Mitgliedstaaten unterschiedlich angesetzt werden.

Für Deutschland wird empfohlen, die Werte $\gamma_{F,fi} = 1,0$ und $\gamma_{M,fi} = 1,0$ zu benutzen. Dies bedeutet, dass für den Brandfall die charakteristische Einwirkung direkt mit dem charakteristischen Widerstand verglichen wird. TR 020 und CEN/TS 1992-4-1 erlauben zur Bestimmung von $R_{k,fi}$ zwei unterschiedliche Bemessungsverfahren:

- einen vereinfachten Nachweis und
- ein detaillierteres Verfahren, das auf der Beurteilung der Ergebnisse aus Brandversuchen beruht und produktspezifischen Vorteilen Rechnung tragen kann.

In beiden Bemessungsverfahren wird die Tragfähigkeit für alle Richtungen der Einwirkung (Zug-, Quer- und kombinierte Zug- und Querlast) sowie für alle möglichen Versagensarten nachgewiesen.

Im Fall des vereinfachten Bemessungsansatzes wird der charakteristische Widerstand auf der Basis von feststehenden Werten durchgeführt. Diese Werte liegen zwar auf der sicheren Seite, der Nachweis einer Verankerung ist jedoch sehr einfach möglich, ohne dass zusätzliche Versuche nach TR 020 durchgeführt werden müssen. Grundlage hierfür sind zahlreiche Brandversuche mit unterschiedlichen Metалldübeln. Soll dieses Bemessungsverfahren verwendet werden, muss sich der Dübel allerdings in diesen Erfahrungsbereich einordnen lassen.

Das vereinfachte Bemessungsverfahren kann auch für Verbunddübel benutzt werden, wenn der Widerstand gegen Herausziehen zuvor experimentell nach TR 020 bestimmt wurde.

10.6.2 Vereinfachtes Verfahren

10.6.2.1 Versagensart Stahlversagen

Die charakteristischen Widerstände von Metалldübeln unter Brandbeanspruchung bei der Versagensart Stahlbruch (charakteristischer Wert der Zugspannung $\sigma_{Rk,s,fi}$) sind für Kohlenstoffstahl und für nichtrostenden Stahl angegeben. Diese Werte gelten für Zug- und Querbeanspruchung, denn Tastversuche haben gezeigt, dass das Verhältnis von aufnehmbarer Schubspannung zu Zugspannung unter Brandbeanspruchung über den Wert bei Normaltemperatur ansteigt.

$R_{d,fi,s} = \sigma_{Rk,s,fi} \cdot A_s / \gamma_{M,s,fi}$	(Gl. 10.115)
$A_{s,fi}$ Spannungsquerschnitt	

Außen- bzw. Gewinde- durchmesser	Verankerungs- tiefe h_{ef}	Charakteristische Zugfestigkeit für einen unge- schützten Dübel aus C-Stahl für eine Brandbean- spruchung bis zu einer Zeit von: $\sigma_{Rk,s,fi}$ [N/mm ²]			
		30 min (R15 bis R30)	60 min (R45 bis R60)	90 min (R90)	120 min (R120)
Ø 6 / M6	≥ 30	10	9	7	5
Ø 8 / M8	≥ 30	10	9	7	5
Ø 10 / M10	≥ 40	15	13	10	8
Ø 12 / M12 und größer	≥ 50	20	15	13	10

Tabelle 10.30: Charakteristische Zugfestigkeit verzinkter Dübel aus Kohlenstoffstahl (C-Stahl) unter Brandbeanspruchung

Außen- bzw. Gewinde- durchmesser	Verankerungs- tiefe h_{ef}	Charakteristische Zugfestigkeit für einen unge- schützten Dübel aus nichtrostendem Stahl für eine Brandbeanspruchung bis zu einer Zeit von: $\sigma_{Rk,s,fi}$ [N/mm ²]			
		30 min (R15 bis R30)	60 min (R45 bis R60)	90 min (R90)	120 min (R120)
Ø 6 / M6	≥ 30	10	9	7	5
Ø 8 / M8	≥ 30	20	16	12	10
Ø 10 / M10	≥ 40	25	20	16	14
Ø 12 / M12 und größer	≥ 50	30	25	20	16

Tabelle 10.31: Charakteristische Zugfestigkeit ungeschützter Dübel aus nichtrostendem Stahl unter Brandbeanspruchung

10.6.2.2 Versagensart Herausziehen

Der Widerstand von Metalldübeln bei der Versagensart Herausziehen wird zum Nachweis einer Brandwiderstandsdauer R90 zu 25 % des Widerstands bestimmt, der sich nach der relevanten ETA für eine Anwendung in gerissenem Beton C20/25 unter Normaltemperatur ergibt. Der Brandwiderstand R120 beträgt 20 % dieses Werts:

R90: $N_{Rd,p,fi(90)} = 0,25 \cdot N_{Rk,p} / \gamma_{M,p,fi}$	(Gl. 10.116)
R120: $N_{Rd,p,fi(120)} = 0,20 \cdot N_{Rk,p} / \gamma_{M,p,fi}$	(Gl. 10.117)

10.6.2.3 Versagensart Betonausbruch

Beim Nachweis gegen Betonausbruch sind die Widerstände bei Verankerungstiefen $h_{ef} \leq 200$ mm mit dem Faktor $h_{ef} / 200$ zu mindern. Damit kann für Zugbeanspruchung die Tragfähigkeit einer Verankerung unter Brand wie folgt berechnet werden:

R90: $N_{Rk,c,fi(90)}^0 = (h_{ef} / 200) \cdot N_{Rk,c}^0 \leq N_{Rk,c}^0$	(Gl. 10.118)
R120: $N_{Rk,c,fi(120)}^0 = 0,8 \cdot (h_{ef} / 200) \cdot N_{Rk,c}^0 \leq N_{Rk,c}^0$	(Gl. 10.119)
h_{ef}^0 = effektive Verankerungstiefe in mm $N_{Rk,c}^0$ = für einen Einzeldübel charakteristischer Widerstand für gerissenen Beton C20/25 unter Normaltemperatur	

10.6.2.4 Betonausbruch auf der lastabgewandten Seite (Pry-out)

Für die Versagensart gilt:

R90: $V_{Rk,cp,fi(90)} = k \cdot N_{Rk,c,fi(90)} \leq N_{Rk,c}$	(Gl. 10.120)
R120: $V_{Rk,cp,fi(120)} = k \cdot N_{Rk,c,fi(90)} \leq N_{Rk,c}$	(Gl. 10.121)
k = Beiwert, aus der relevanten ETA (Normaltemperatur)	

10.6.2.5 Versagensart Betonkantenbruch

Für Querlast und rückwärtigen Betonausbruch gilt:

R90: $V_{Rk,c,fi(90)}^0 = 0,25 \cdot V_{Rk,c}^0$	(Gl. 10.122)
R120: $V_{Rk,c,fi(120)}^0 = 0,20 \cdot V_{Rk,c}^0$	(Gl. 10.123)
$V_{Rk,c}^0$ = für einen Einzeldübel charakteristischer Widerstand für gerissenen Beton C20/25 unter Normaltemperatur	

10.6.3 Detailliertes Verfahren

Die Bemessung nach dem detaillierten Verfahren erfordert produktspezifische Daten zu den Versagensarten Stahlbruch und Herausziehen, die in Brandversuchen nach TR 020 bestimmt und in einer ETA hinterlegt werden, sodass die Bemessung für den Brandfall analog einer „kalten“ Bemessung unter Normaltemperatur durchgeführt werden kann. Die Ermittlung des Widerstands bei der Versagensart Betonbruch erfolgt wie bei dem vereinfachten Verfahren.

Es hat sich gezeigt, dass das vereinfachte Bemessungsverfahren nur in solchen Fällen eine praktische Lösung darstellt, in denen unter Brandbeanspruchung vergleichsweise geringe Tragfähigkeiten erforderlich sind. In der Praxis sind diese Tragfähigkeiten jedoch häufig nicht ausreichend. Daher lassen Hersteller für ihre Produkte Brandprüfungen durchführen, um zu gewährleisten, dass ihre Kunden die volle Leistungsfähigkeit ihrer Erzeugnisse auszunutzen können. In den meisten Fällen ist bei Metalldübeln Stahlbruch die maßgebende Versagensart. Da die Höchstlasten der Versagensarten Herausziehen und Betonbruch häufig wesentlich höher sind als bei der Versagensart Stahlbruch, ist es möglich, dass die nach Versuchen ermittelten Werte um den Faktor 2 bis 3 größer sind als die nach dem vereinfachten Verfahren ermittelten Werte.

10.6.4 Beispiel

Für eine Einzelverankerung im Beton ohne Einfluss von Achs- und Randabständen werden die Bemessungswiderstände unter Zugbeanspruchung mit dem vereinfachten Verfahren und dem detaillierten Verfahren für den geforderten Feuerwiderstand R90 ermittelt und miteinander verglichen.

Dübel:	Würth FAZ/S M10 gemäß ETA-99/0011 vom 8. März 2011
Beanspruchung:	Zugbeanspruchung
Ankergrund:	C20/25, gerissen
Erf. Feuerwiderstand:	R90
Teilsicherheitsbeiwerte:	$\gamma_{F,fi} = 1,0$ und $\gamma_{M,fi} = 1,0$

Vereinfachtes Verfahren:

Stahlversagen:

$$N_{Rd,s,fi} = \sigma_{Rk,s,fi} \cdot A_s / \gamma_{M,s,fi} = 10 \text{ N/mm}^2 \cdot 58,0 \text{ mm}^2 / 1,0 \quad (\sigma_{Rk,s,fi} \text{ aus Tabelle 10.30})$$

$$= 0,6 \text{ kN}$$

Herausziehen:

$$N_{Rd,p,fi(90)} = 0,25 \cdot N_{Rk,p} / \gamma_{M,p,fi} \quad (N_{Rk,p} \text{ aus ETA-99/0011, Tabelle 6})$$

$$= 0,25 \cdot 9 / 1,0$$

$$= 2,25 \text{ kN}$$

Betonausbruch:

$$N_{Rd,c,fi(90)}^0 = (h_{ef} / 200) \cdot N_{Rk,c}^0 / \gamma_{Mc,fi}$$

$$N_{Rd,c,fi(90)}^0 = (60 / 200) \cdot 7,2 \cdot \sqrt{25} \cdot 60^{1,5} / 1,0 = 5,0 \text{ kN}$$

(h_{ef} aus ETA-99/0011, $N_{Rk,c}^0$ nach CEN/TS 1992-4-4)

Der maßgebliche Widerstand wird nach dem vereinfachten Verfahren ermittelt:

$$N_{Rd,s,fi} = 0,6 \text{ kN} \leq N_{Rd,p,fi(90)} = 2,25 \text{ kN} \leq N_{Rd,c,fi(90)}^0 = 5,0 \text{ kN}$$

Stahlversagen wird maßgebend. Der maximal ansetzbare Widerstand beträgt $N_{Rd,s,fi} = 0,6 \text{ kN}$.

Detailliertes Verfahren:

Stahlversagen:

$$N_{Rd,s,fi} = 1,4 \text{ kN, aus Tabelle 10 in ETA-99/0011 vom 8. März 2011}$$

Herausziehen:

$$N_{Rd,p,fi(90)} = 2,25 \text{ kN, wie beim vereinfachten Verfahren}$$

Betonversagen:

$$N_{Rd,c,fi(90)}^0 = 5,0 \text{ kN, wie beim vereinfachten Verfahren}$$

Der maßgebliche Widerstand wird nach dem detaillierten Verfahren ermittelt:

$$N_{Rd,s,fi} = 1,4 \text{ kN} \leq N_{Rd,p,fi(90)} = 2,25 \text{ kN} \leq N_{Rd,c,fi(90)}^0 = 5,0 \text{ kN}$$

Stahlversagen wird maßgebend. Der maximal ansetzbare Widerstand beträgt $N_{Rd,s,fi} = 1,4 \text{ kN}$ und beträgt damit das $1,4 / 0,6 = 2,3$ -Fache des Werts nach dem vereinfachten Verfahren.

10.7 Bemessung unter ermüdungsrelevanten (dynamischen) Belastungen

10.7.1 Allgemeines

Die erforderlichen Nachweise für die Tragfähigkeit bei einer reinen Zugbeanspruchung sind in Tabelle 10.32 zusammengefasst.

	Einzelbefestigung	Gruppenbefestigung	
		Höchstbeanspruchtes Befestigungsmittel	Gruppenbefestigung
Stahlversagen	$\gamma_{F,fat} \cdot \Delta N_{Ek} \leq \Delta N_{Rk,s} / \gamma_{Ms,N,fat}$	$\gamma_{F,fat} \cdot \Delta N_{Ek}^h \leq (\psi_{Fn} \cdot \Delta N_{Rk,s}) / \gamma_{Ms,N,fat}$	
Herausziehen	$\gamma_{F,fat} \cdot \Delta N_{Ek} \leq \Delta N_{Rk,p} / \gamma_{Mp,fat}$	$\gamma_{F,fat} \cdot \Delta N_{Ek}^h \leq (\psi_{Fn} \cdot \Delta N_{Rk,p}) / \gamma_{Mp,fat}$	
Kegelförmiger Betonausbruch	$\gamma_{F,fat} \cdot \Delta N_{Ek} \leq \Delta N_{Rk,c} / \gamma_{Mc,fat}$		$\gamma_{F,fat} \cdot \Delta N_{Ek}^g \leq \Delta N_{Rk,c} / \gamma_{Mc,fat}$
Spalten des Betons	$\gamma_{F,fat} \cdot \Delta N_{Ek} \leq \Delta N_{Rk,sp} / \gamma_{Mc,fat}$		$\gamma_{F,fat} \cdot \Delta N_{Ek}^g \leq \Delta N_{Rk,sp} / \gamma_{Mc,fat}$
Lokales Abplatzen des Betons (Blow-up)	$\gamma_{F,fat} \cdot \Delta N_{Ek} \leq \Delta N_{Rk,cb} / \gamma_{Mc,fat}$		$\gamma_{F,fat} \cdot \Delta N_{Ek}^g \leq \Delta N_{Rk,cb} / \gamma_{Mc,fat}$

Tabelle 10.32: Erforderliche Nachweise für Zugversagen

10.7.2 Ermittlung des Widerstands

Auf der Basis des Regelwerks für Dübelbefestigungen unter vorwiegend ruhenden Einwirkungen [52] und der im Rahmen der Forschungsarbeiten für Dübelbefestigungen mit ermüdungsrelevanten Einwirkungen durchgeführten Untersuchungen lassen sich Bemessungsregeln für derartig beanspruchte Dübelbefestigungen angeben. Wünschenswert wäre es, ein Regelwerk zu benutzen, das auch die Kombination von vorwiegend ruhenden und ermüdungsrelevanten Einwirkungen erfasst. Dieses Bemessungsverfahren I wird in [29] für die Anwendung beschrieben.

Verzichtet man auf die Kombination vorwiegend ruhender und ermüdungsrelevanter Einwirkungen, so lässt sich die Bemessung vereinfacht durchführen (Bemessungsverfahren II). Dabei wird angenommen, dass sämtliche Einwirkungen, also auch Einwirkungen aus dem Eigengewicht, ermüdungsrelevant sind.

10.7.3 Bemessungsverfahren I

Die Kombination vorwiegend ruhender und ermüdungsrelevanter Einwirkungen ist möglich. Außerdem kann dieser Standsicherheitsnachweis für jede beliebige Schwingspielzahl geführt werden.

Der Nachweis wird mit diesem Verfahren geführt, wenn

- eine klare Aufteilung der gesamten Beanspruchung auf vorwiegend ruhenden F_{Ed} und ermüdungsrelevanten Anteil ΔF_{Ed} möglich ist und (oder)
- eine obere Grenze von Belastungszyklen $N = n$ während der Lebensdauer bekannt ist.

Fall A1 → nur die Bedingung (1) ist erfüllt:

$$\Delta F_{Rd,S;n} = \Delta F_{Rd,S;\infty} \quad \text{Charakteristischer Wert der Dauerschwingtragfähigkeit bei Schwell- bzw. Wechselbeanspruchung mit bekannter Unterlast } F_{Ed}$$

Fall A2 → nur die Bedingung (2) ist erfüllt:

$$\begin{aligned} \Delta F_{Ed} &= F_{Ed,tot} && \text{Bemessungswert der gesamten Beanspruchung} \\ \Delta F_{Rd,S;n} &= \Delta F_{Rd,0;n} && \text{Bemessungswert der Ermüdungtragfähigkeit bei Ursprungsbeanspruchung nach} \\ &&& N = n \text{ Belastungszyklen} \end{aligned}$$

Fall A3 → die Bedingungen (1) und (2) sind erfüllt:

$$\Delta F_{Rd,S;n} \quad \text{Bemessungswert der Ermüdungtragfähigkeit bei Schwell- bzw. Wechselbeanspruchung mit bekannter Unterlast } F_{Ed} \text{ nach } N = n \text{ Belastungszyklen}$$

Nun werden die folgenden Nachweise für jede mögliche Versagensart getrennt erforderlich:

Versagensart		
Stahlversagen	$(\gamma_{FN} \cdot \Delta N_{Ed} / \Delta N_{Rd,s;S;n})^\alpha + (\gamma_{FV} \cdot \Delta V_{Rd,s;S;n})^\alpha \leq 1,0$	(Gl. 10.124)
Betonausbruch	$(\Delta N_{Ed} / \Delta N_{Rd,c;S;n})^\alpha + (\Delta V_{Ed} / \Delta V_{Rd,c(cp);S;n})^\alpha \leq 1,0$ mit $\Delta V_{Rd,c(cp);S;n} = \min(\Delta V_{Rd,c;S;n}; \Delta V_{Rd,cp;S;n})$ $\gamma_{FN} = \gamma_{FV} = 1,0$ bei Einzelbefestigung $\gamma_{FN} = \gamma_{FV} = 1,3$ bei Mehrfachbefestigung gemäß [29] $\alpha = 1,5$ gemäß [29]	(Gl. 10.125)
Herausziehen	$(\gamma_{FN} \cdot \Delta N_{Ed} / \Delta N_{Rd,p;S;n}) \leq 1,0$	(Gl. 10.126)

Tabelle 10.33: Bemessung auf Ermüdung nach Bemessungsverfahren I

Die Bemessungswerte des Widerstands sind immer der jeweiligen europäischen technischen Zulassung zu entnehmen.

10.7.4 Bemessungsverfahren II

Der Nachweis wird mit diesem Verfahren geführt, wenn

- eine klare Aufteilung der gesamten Beanspruchung auf vorwiegend ruhenden F_{Ed} und ermüdungsrelevanten Anteil ΔF_{Ed} nicht möglich ist und
- eine obere Grenze von Belastungszyklen $N = n$ während der Lebensdauer nicht vorhanden oder nicht bekannt ist.

Dabei gilt $\Delta F_{Ed} = F_{Ed,tot}$ Bemessungswert der gesamten Beanspruchung und $\Delta F_{Rk} = \Delta F_{Rk,0;\infty}$ charakteristischer Wert der Dauerschwingtragfähigkeit bei Ursprungsbeanspruchung.

Die folgenden Nachweise sind zu führen:

Versagensart		
Stahlversagen	$[\gamma_{FN} \cdot \Delta N_{Ed} / (\Delta N_{Rk,s} / \gamma_{Ms})]^\alpha + [\gamma_{FV} \cdot \Delta V_{Ed} / (\Delta V_{Rk,s} / \gamma_{Ms})]^\alpha \leq 1,0$	(Gl. 10.127)
Betonsausbruch	$[\Delta N_{Sd} / (\Delta N_{Rk,c} / \gamma_{Mc})]^\alpha + [\Delta V_{Sd} / (\Delta V_{Rk,c(cp)} / \gamma_{Mc})]^\alpha \leq 1,0$ mit $\Delta V_{Rk,c(cp)} = \min(\Delta V_{Rk,c}; \Delta V_{Rk,cp})$ $\gamma_{FN} = \gamma_{FV} = 1,0$ bei Einzelbefestigung $\gamma_{FN} = \gamma_{FV} = 1,3$ bei Mehrfachbefestigung gemäß [29] $\alpha = 1,5$ gemäß [29]	(Gl. 10.128)
Herausziehen	$(\gamma_{FN} \cdot \Delta N_{Ed} / \Delta N_{Rd,p;S;n}) \leq 1,0$	(Gl. 10.129)

Tabelle 10.34: Bemessung auf Ermüdung nach Bemessungsverfahren II

Die Bemessungswerte des Widerstands sind immer der jeweiligen europäischen technischen Zulassung zu entnehmen.

Die Materialsicherheitsbeiwerte γ_{MsN} und γ_{MsV} für Stahlversagen sind bereits in die angegebenen Bemessungswerte eingearbeitet. Für die Dauerermüdungstragfähigkeiten wurden sie in Anlehnung an [18] und anhand statistischer Bewertungen von Versuchsergebnissen mit 1,35 angegeben. Der Materialsicherheitsbeiwert γ_{Mc} für das Betonversagen bei Dauerschwingbeanspruchung wird ebenfalls auf der Grundlage von Versuchsergebnissen mit 1,35 angegeben. Bei Wechsellasten in Querrichtung ist unbedingt zu beachten, dass die volle Schwingbreite der Einwirkungen angenommen werden muss.

10.8 Bemessung von eingemörtelten Bewehrungsstäben nach DIN EN 1992-1-1

Die Tragfähigkeit des eingemörtelten Bewehrungsstabs ist für die Versagensarten Stahlbruch und Herausziehen nachzuweisen.

10.8.1 Stahlbruch

Der Bemessungswert der Zugtragfähigkeit bei Stahlversagen ist:

$N_{Rd,s} = (\pi / 4) \cdot d_s^2 \cdot (f_{yk} / \gamma_s)$	(Gl. 10.130)
d_s Durchmesser des Bewehrungsstabs	
f_{yk} Streckgrenze des Bewehrungsstabs	
γ_s Teilsicherheitsbeiwert für den Stahl	
$= 1,15$	

10.8.2 Herausziehen

10.8.2.1 Allgemeines

Der Nachweis gegen die Versagensart Herausziehen erfolgt bei Verankerungen und Übergreifungsstößen über den Nachweis der Verankerungslänge bzw. Stoßlänge. Diese basieren auf der Verbundfestigkeit. Der Bemessungswert der Verbundfestigkeit f_{bd} hängt von der Betondruckfestigkeit, den Verbundbedingungen und dem Durchmesser der Bewehrungsstäbe ab. Er ist begrenzt, um Spalten bzw. Längsrissbildung der relativ geringen Betonüberdeckung zu verhindern.

Die Bemessungswerte der Verbundfestigkeit f_{bd} sind für die Betonfestigkeitsklassen C12/15 bis C50/60 den Zulassungsbescheiden für eingemörtelte Bewehrungsstäbe zu entnehmen. Sie gelten für gute Verbundbedingungen nach DIN EN 1992-1-1. Von guten Verbundbedingungen kann in folgenden Fällen ausgegangen werden:

- Stäbe mit einer Neigung von $45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$
- Stäbe in Bauteilen mit einer Höhe $h \leq 250$ mm
- Stäbe in Bauteilen beliebiger Höhe, falls sie in der unteren Hälfte des Querschnitts liegen
- Stäbe, die mindestens 300 mm entfernt von der Bauteiloberkante liegen

Für alle anderen Verbundbedingungen sind die Werte mit dem Wert 0,7 zu multiplizieren. Liegen Betone höherer Festigkeiten als C50/60 vor, sind die Verbundfestigkeiten im Einzelfall nachzuweisen.

10.8.2.2 Verankerungslänge

Bei der Festlegung der erforderlichen Verankerungslänge müssen die Stahlsorte und die Verbundeigenschaften der Stäbe berücksichtigt werden. Die für die Anwendung als eingemörtelte Bewehrungsstäbe verwendeten Betonstähle sind in den Zulassungsbescheiden angegeben.

Der erforderliche Basiswert der Verankerungslänge $l_{b,rqd}$ zur Verankerung der Kraft $A_s \cdot \sigma_{sd}$ in einem geraden Stab unter der Annahme einer konstanten Verbundspannung f_{bd} ist:

$l_{b,rqd} = (d_s / 4) \cdot (\sigma_{sd} / f_{bd})$	(Gl. 10.131)
d_s Durchmesser des Bewehrungsstabes	
σ_{sd} Bemessungswert der Stahlspannung des Stabs an der Stelle, von der aus die Verankerung gemessen wird	
f_{bd} Nach Zulassungsbescheid	

Damit ergibt sich der Bemessungswert der Verankerungslänge:

$l_{b,d} = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5 l_{b,rqd} \geq l_{b,min}$	(Gl. 10.132)
$l_{b,rqd}$ nach Gleichung 10.31	
$\alpha_1 = 1,0$ für gerade Stäbe	
$\alpha_2 = 0,7 \dots 1,0$ Einfluss der Betondeckung nach DIN EN 1992-1-1, Tab. 8.2	
$\alpha_3 = 1,0$ keine Querbewehrung	
$\alpha_4 = 1,0$ keine angeschweißte Querbewehrung	
$\alpha_5 = 0,7 \dots 1,0$ Berücksichtigung von Querdruk nach DIN EN 1992-1-1, Tab. 8.2	
$l_{b,min} = \max \{0,3 l_{b,rqd}; 10 d_s; 100 \text{ mm}\}$ unter Zug	
$= \max \{0,6 l_{b,rqd}; 10 d_s; 100 \text{ mm}\}$ unter Druck	
Mindestverankerungslänge nach DIN EN 1992-1-1	

Bei nass diamantgebohrten Bohrlöchern sind die Werte nach Zulassungsbescheid i. d. R. mit dem Faktor 1,5 zu multiplizieren.

10.8.2.3 Übergreifungslängen von Bewehrungsstößen

Der Bemessungswert der Übergreifungslänge eines Stoßes beträgt unter Ansatz des Basiswerts der Verankerungslänge $l_{b,rqd}$:

$l_0 = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_5 \alpha_6 l_{b,rqd} \geq l_{0,min}$	(Gl. 10.133)
$l_{b,rqd}$ nach Gleichung 10.31	
$\alpha_1 = 1,0$ für gerade Stäbe	
$\alpha_2 = 0,7 \dots 1,0$ Einfluss der Betondeckung nach DIN EN 1992-1-1, Tab. 8.2	
$\alpha_3 = 1,0$ keine Querbewehrung	
$\alpha_5 = 0,7 \dots 1,0$ Berücksichtigung von Querdruk, nach DIN EN 1992-1-1, Tab. 8.2	
$\alpha_6 = 1,0 \dots 1,5$ Berücksichtigung des Einflusses des Anteils gestoßener Stäbe am Gesamtquerschnitt des Betonstahls nach DIN EN 1992-1-1, Tab. 8.2	
$l_{0,min} = \max \{0,3 \cdot \alpha_6 l_{b,rqd}; 15 d_s; 200 \text{ mm}\}$	
Mindestverankerungslänge nach DIN EN 1992-1-1	

Bei nass diamantgebohrten Bohrlöchern sind die Werte nach Zulassungsbescheid i. d. R. mit dem Faktor 1,5 zu multiplizieren.

Bei der Berechnung der effektiven Einbindetiefe l_v von Übergreifungsstößen ist die Betondeckung c_1 an der Stirnseite des vorhandenen Stabs zu berücksichtigen.

$l_v \geq l_0 + c_1$	(Gl. 10.134)
l_0 = erforderliche Übergreifungslänge nach Gleichung (10.133)	
c_1 = Betondeckung an der Stirnseite des vorhandenen Stabs	

Ist der lichte Abstand der gestoßenen Stäbe größer als $4 d_s$, so muss die Übergreifungslänge um die Differenz zwischen dem vorhandenen lichten Stababstand und $4 d_s$ vergrößert werden.

Das Ziel einer dauerhaft sicheren Befestigung kann nur durch ein Zusammenwirken von Hersteller und Anwender erreicht werden (Bild 11.1). Die Hersteller müssen sicher funktionierende Befestigungssysteme für die Praxis bereitstellen. Dies wird durch eine Zulassung nachgewiesen und zur nachhaltigen Qualitätsgewährleistung bei der Produktion durch eine eigene (Eigenüberwachung) und eine unabhängige (Fremdüberwachung) Kontrolle überprüft. Andererseits bedarf es einer fehlerfreien Planung und Montage sowie der Einhaltung der vorgesehenen Nutzungsbedingungen.

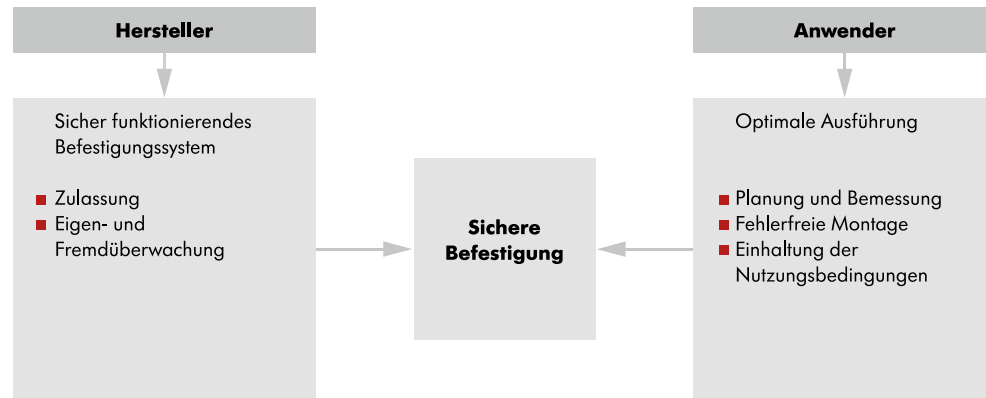


Bild 11.1: Zusammenwirken von Hersteller und Anwender zur Gewährleistung von sicheren Befestigungen

Obwohl sicher funktionierende Befestigungssysteme am Markt verfügbar sind, treten immer wieder Schadensfälle auf. Umfangreiche Untersuchungen [85] zeigen, dass Bauschäden zum weitaus überwiegenden Teil auf menschliches Fehlverhalten zurückzuführen sind. Die Kosten für die Planung und Ausführung von Befestigungen betragen i. A. nur einen geringen Bruchteil an den Gesamtkosten eines Gebäudes. Treten allerdings Fehlanwendungen und Schadensfälle auf, kann dies Menschenleben in Gefahr bringen und die Beseitigung kann sehr hohe Nachfolgekosten verursachen. Die Ausführung von Befestigungen erfolgt i. d. R. in zwei Etappen (Bild 11.2). Zunächst hat der Ingenieur im Planungsbüro die Aufgabe, die optimale Dübelauswahl zu treffen und die Bemessung durchzuführen. Um dieser Aufgabe gerecht zu werden, bedarf es entsprechender Kenntnisse, da wesentliche Einflussfaktoren zu berücksichtigen sind (siehe Kapitel 7). Der zweite Schritt – die Montage – erfordert vom Monteur auf der Baustelle insbesondere Kenntnisse über die Funktionsprinzipien der Dübel sowie die Einflussgrößen auf die Montage (siehe Kapitel 6).

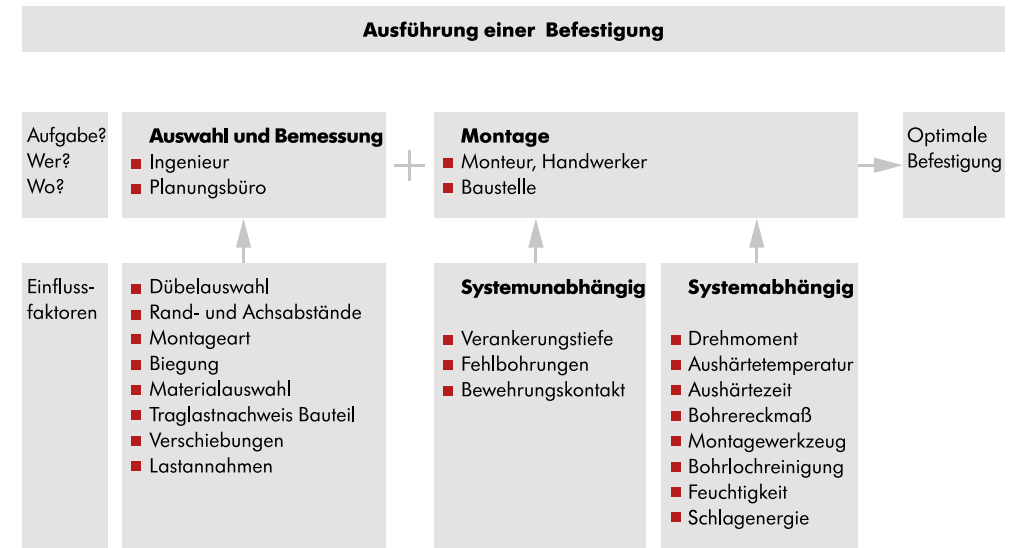


Bild 11.2: Etappen bei der Ausführung einer Befestigung und Einflussfaktoren

In der Baupraxis sind häufig Ausführungsfehler infolge ungenügender Planung, fehlerhafter Montage oder unvorhergesehener Nutzung zu beobachten. Beispiele von Anwendungsfehlern aus der Befestigungspraxis, getrennt nach Planung, Montage und Nutzung, sind in Bild 11.3 aufgeführt.



Bild 11.3: Fehlerbeispiele bei der Planung, Montage und Nutzung [85]

Fehlanwendungen bei der Planung und Montage lassen sich in offensichtliche und versteckte Mängel unterteilen. Mängel können strafrechtliche sowie wirtschaftliche Konsequenzen zur Folge haben. Typische Mängel sind in Tabelle 11.1 zusammengestellt. Bild 11.4 zeigt zur Veranschaulichung einige Beispiele.

Offensichtliche Mängel	Versteckte Mängel
■ Spalttrisse oder Abplatzungen im Verankerungsgrund ■ Fehlbohrungen ■ Anzeichen eines Versagens (große Verschiebungen) ■ Falsche Materialauswahl, z. B. bei Außenanwendungen	■ Falsche Verankerungstiefe ■ Falsche Dübelauswahl ■ Sofortige Belastung (Verbunddübel) ■ Aufbringen eines falschen Montagedrehmoments ■ Anschneiden oder Durchtrennen von Bewehrung ■ Ungenügende Bohrlochreinigung ■ Falsches Bohrverfahren (Hohlmauerwerk) ■ Ungenügende Verspreizung

Tabelle 11.1: Offensichtliche und versteckte Mängel bei der Ausführung von Befestigungen



a) Unterschreitung des minimalen Randabstands



b) Überbelastung



c) Der nächste Schadensfall?

Bild 11.4: Beispiele für Schadensfälle und Fehlanwendungen

12 Wirtschaftliche Befestigungen

Zur Herstellung wirtschaftlicher Befestigungen ist es nicht ausreichend, die Preise der einzelnen Produkte und Hersteller miteinander zu vergleichen, sondern es müssen auch alle der Befestigungsaufgabe vor- und nachgelagerten Arbeiten berücksichtigt werden. Diese werden in einer sogenannten Kosten-Nutzen-Analyse zusammengefasst. Die wesentlichen Punkte sind in Tabelle 12.1 zusammengestellt und werden im Folgenden kurz erläutert. Die Liste erhebt nicht den Anspruch auf Vollständigkeit. Abhängig von der Befestigungsaufgabe können weitere Bedingungen für die Kalkulation maßgebend werden.

Die Dübelmontagekosten werden beeinflusst durch

- den Preis des Dübels,
- die erforderliche Bohrmaschine,
- das Bohrwerkzeug, ggf. den Einsatz von Spezialbohrern,
- Bohrlochdurchmesser und -tiefe → Bohrzeit,
- die Wartezeit bis zum Aufbringen der Belastung (chem. Dübel) und
- die notwendigen Montagekontrollen.

Weiterhin sind hinsichtlich des Montageaufwands zu beachten

- die Lieferzeit der Dübel und Bohrwerkzeuge,
- die Lagerhaltung, z. B. das Kühlen bei chemischen Dübeln,
- die Wegezeiten, z. B. für den Transport zwischen Lager und Einbaustelle, und
- die Rüstzeiten, z. B. den Bedarf an Gerüsten, Hebebühnen und Leitern.

In diese Betrachtungen sind die Leistungsdaten der Dübel sowie Vorteile hinsichtlich Verfügbarkeit, Rechnungsstellung und Montagefreundlichkeit mit einzubeziehen. So können sich insbesondere bei Reihen- oder Serienmontagen Zeitunterschiede im Bereich weniger Minuten je Befestigungspunkt schnell addieren und einen wesentlichen Kostenfaktor darstellen. Zudem gilt es zu beachten, dass die Anschaffungskosten evtl. benötigter Spezialbohrer wesentlich höher als für übliche Bohrwerkzeuge und diese oftmals nicht universell einsetzbar sind.

Die Dübelauswahl sollte unter dem Gesichtspunkt erfolgen, dass die Befestigung sicher und ohne Mängel auszuführen ist. Nachträgliche Reparaturen und Sanierungen sind nahezu immer schwierig und zeitaufwendig. Sie können einen erheblichen nicht kalkulierten Kostenfaktor darstellen. Daher sind hier nochmals die wichtigsten Punkte für die Dübelauswahl dargestellt:

- Umgebungsbedingungen: Temperatur, Feuchtigkeit und Schadstoffe
- Verankerungsgrund: Art (Beton, Mauerwerk) und Festigkeit
- Belastung: Größe, Art und Richtung

Punkt	Zeile		Variante 1	Variante 2
Dübel	1	Bezeichnung		
	2	Anzahl der Dübel		
	3	Kosten pro Dübel	€	
	4	Verfügbarkeit		
	5	Zeile 2 x Zeile 3	€	
Lager	6	Kosten für spezielle Lagerhaltung (Kühlen, Heizen und Lüften), z. B. bei chem. Produkten	€	
Bohrer und Bohrhammer	7	Abnutzung Bohrhammer		
	8	Bohrerdurchmesser		
	9	Bohrlochtiefe		
	10	Anzahl der Bohrlöcher pro Bohrer		
	11	Anzahl der benötigten Bohrer		
	12	Kosten der Bohrer	€	
	13	Zeile 11 x Zeile 12	€	
Bohrloch	14	Zeitaufwand pro Bohrloch einschl. Reinigung		
	15	Zeile 14 x Stundensatz	€	
Montage	16 ¹⁾	Montagedauer pro Dübel		
	17	Dauer der evtl. erforderlichen Kontrolle, Probelastung		
	18	Zeile 16 + Zeile 17		
	19	Zeile 18 x Stundensatz	€	
	20 ²⁾	Montagewerkzeug	€	
	21	Zeile 19 + Zeile 20	€	
Summe	22	Zeile 5 + Zeile 6 + Zeile 13 + Zeile 15 + Zeile 21	€	
Weitere Kostenfaktoren	23	Bevorzugte Variante		
	24	Örtliche Besonderheiten		

¹⁾ Rüstzeiten berücksichtigen (z. B. Stellen eines Gerüsts, einer Leiter etc.), bei chem. Dübeln: Aushärtezeiten beachten

²⁾ Z. B. Setzwerkzeug, Drehmomentschlüssel, Bundbohrer, Reinigungsbürste, ...

Tabelle 12.1: Einflussgrößen auf die Kalkulation einer Befestigung

13 Haftungsfragen

Konstruktionsfehler, Fehlanwendungen und fehlerhafte Produkte treten in der Befestigungstechnik selten auf. Die genannten Fehler können jedoch zum Versagen von Verbindungen mit schweren Schäden an Personen und Einrichtungen führen. Daraus entstehen i. d. R. für die Geschädigten erhebliche Ansprüche aus der Haftung der Verantwortlichen mit zum Teil erheblichen wirtschaftlichen Folgen und zum Teil persönlichen Konsequenzen.

Zur Vermeidung von Konstruktionsfehlern werden Seminare für Planer und Anwender durchgeführt. Ganz besonders ist hier auf den Qualifikationslehrgang zum „Zertifizierten Befestigungstechniker“ hinzuweisen (siehe Kapitel 14).

Der Vertrieb und die Herstellung fehlerfreier Produkte werden durch qualitätssichernde Maßnahmen wie Eigen- und Fremdüberwachung von Produktion und Produkten gesichert.

Dennoch soll mit diesem Kapitel ansatzweise veranschaulicht werden, in welchem rechtlichen Umfeld sich die Anwendung der Dübeltechnik bewegt. Haftungsfragen und die daraus resultierenden rechtlichen Folgen und Konsequenzen können im Rahmen dieses Handbuchs bei Weitem nicht vollständig und abschließend behandelt werden. Daher kann und soll dieser Abschnitt im Fall einer Reklamation oder eines Schadens auch keinen Rechtsbeistand ersetzen.

Planer und Monteure müssen in der Dübeltechnik insbesondere die folgenden Gesetze berücksichtigen:

- das Bürgerliche Gesetzbuch (BGB)
- das Produkthaftungsgesetz (ProdHaftG)
- das Haftpflichtgesetz (HpfG)
- das Handelsgesetzbuch (HGB)
- div. Schutzgesetze wie z. B. das Gesetz über technische Arbeitsmittel und Verbraucherprodukte (GPSG) usw.

Des Weiterhin sind vertragliche Randbedingungen wie z. B. die Vergabe und Vertragsordnung für Bauleistungen VOB (Teil A bis C) sowie evtl. maßgebliche anwendungsbezogene Vorschriften und Zusatzvertragsbedingungen zu beachten. Zudem wird erwartet, dass eine Befestigungsaufgabe nach den anerkannten Regeln der Technik, z. B. Normen und Zulassungen, sowie nach dem aktuellen Stand der Technik, der z. B. auf Seminarinhalten und Fachveröffentlichungen gegründet ist, ausgeführt wird.

Zur Durchführung einer Befestigungsaufgabe wird ein Bauvertrag geschlossen [84]. Die Wirksamkeit der Vertragsinhalte wird unter Berücksichtigung aller Einzelfallumstände nach dem Bürgerlichen Gesetzbuch (BGB), ggf. unter Modifikation durch die VOB, beurteilt. Häufig werden die Bestimmungen der Verdingungsordnung für Bauwesen VOB/B als Bestandteil in den Vertrag einbezogen; seit dem 11.06.2010 müssen öffentliche Auftraggeber in den gesetzlichen oder durch Verwaltungsvorschriften vorgesehenen Fällen die Verdingungsordnung bei Bauaufträgen stets zugrunde legen. Die VOB/B ist keine eigene Rechtsnorm, sondern gehört zu den allgemeinen Geschäftsbedingungen (AGB). Verständigen sich die Bauvertragsparteien darauf, dass die VOB/B Bestandteil des Bauvertrags sein soll, gelten ihre Regelungen für die gegenseitigen Rechte und Pflichten der Bauvertragsparteien kraft vertraglicher Vereinbarung. Hierdurch werden die allgemeinen gesetzlichen Bestimmungen, insbesondere die des BGB-Werkvertragsrechts, modifiziert und ergänzt.

Nach Abschluss des Bauvertrags wird mit der Bearbeitung der Befestigungsaufgabe begonnen. Dabei ist in der Befestigungstechnik der Ersteller der Verbindung als „Hersteller“ zu betrachten. Er unterliegt daher den Bestimmungen des Produkthaftungsrechts [70]. Dies setzt voraus, dass jeder, der ein Produkt serienmäßig oder handwerklich erstellt, sich der weitreichenden Folgen (Ausmaß im Schadensfall) bewusst ist, die eintreten können, wenn er ein fehlerhaftes Erzeugnis herstellt. Hierbei gilt es insbesondere zu beachten, dass nur das Risiko des Schadensersatzes versicherbar ist, nicht jedoch die ggf. damit einhergehenden strafrechtlichen Folgen. Letztere muss der „Hersteller“ der schadhafte Verbindung höchstpersönlich verantworten. Haftpflichtversicherungen kommen dafür nicht auf.

Produkthaftung bedeutet in der Befestigungstechnik, dass der Hersteller einer Dübelverbindung für Schäden haftet, die Dritten aus Fehlern seiner Produkte entstehen. Der Ersteller des Befestigungspunkts haftet demnach für Schäden, die aus einer nicht funktionsfähigen oder fehlerhaften Verbindung entstehen. Fehlerhaft ist eine Verbindung, die nicht die Sicherheit aufweist, die der Benutzer und die Allgemeinheit berechtigterweise erwarten können. Dies ist zum Beispiel dann der Fall, wenn beim Anlehnen einer Person an ein Geländer die Dübel versagen.

Gehaftet wird grundsätzlich für alle unmittelbaren Schäden an Sachen und Personen (Verletzung, Krankheit, Tod) und für alle sich für die Geschädigten daraus ergebenden Folgen. Die Haftung kann nicht ausgeschlossen oder beschränkt werden und gilt für den Unternehmer. Im Falle von Personenschäden sind zudem bei Verletzen eigener Sorgfaltspflichten nach tatsächlicher innerbetrieblicher Verantwortung die Mitarbeiter des Unternehmens strafrechtlich haftbar. Das kann Geld- und Freiheitsstrafen für die Mitarbeiter zur Folge haben. Die Produkthaftung ist eine „Gefährdungshaftung“. Damit haftet der Hersteller einer Verbindung mit Befestigungsmitteln zunächst unabhängig davon, ob er für den Fehler verantwortlich ist. Entscheidend ist allein das Vorhandensein des Fehlers. Zudem gilt die sogenannte Beweislastumkehr: Nicht der Geschädigte muss das Verschulden des Herstellers nachweisen, vielmehr muss der Hersteller selbst nachweisen, dass er keinen Fehler begangen hat bzw. der Fehler nicht in seinem Verantwortungsbereich entstanden ist. Dies ist z. B. dann der Fall, wenn er die Ausführungen eines Zulassungsbescheids sowie die Montageanweisungen des Dübelherstellers genau befolgt hat. Der Monteur kann dies durch die Dokumentation der Befestigungsaufgabe mithilfe des Montageprotokolls, die ohnehin durch die deutschen Zulassungsbescheide gefordert wird, nachweisen. Gewähr dafür, nicht haftbar gemacht zu werden, bietet nur die fehlerfreie Ausführung einer Befestigungsaufgabe.

Dies bedeutet den Einsatz hochwertiger Dübelprodukte und das Einhalten der für den Entwurf, die Bemessung und die Montage der Dübel erforderlichen Bestimmungen, Richtlinien und Gebrauchsanweisungen.

14 Zertifizierter Befestigungstechniker

14.1 Einbau durch entsprechend geschultes Personal unter Aufsicht des Bauleiters

In den vergangenen Jahrzehnten hat sich die Befestigungstechnik zu einer der innovativsten Branchen im Baubereich entwickelt. Trotz dieser Entwicklung ist die Befestigungstechnik noch immer eine relativ junge Disziplin. Es gibt noch keinen gesicherten Stand der Technik, der in Normen dokumentiert ist. Die Bemessung erfolgt in der Regel nach allgemeinen bauaufsichtlichen bzw. europäischen technischen Zulassungen. Für den Anwender gibt es eine kaum überschaubare Anzahl unterschiedlicher Befestigungsmittel, die für bestimmte Anwendungsbereiche entwickelt wurden. Für die sichere und dauerhafte Lasteinleitung in den Untergrund stehen heute nahezu für jede Anwendung geeignete Dübelsysteme aus Stahl und Kunststoff zur Verfügung. Sie sind durch die unterschiedlichen Wirkprinzipien, Werkstoffe und Abmessungen den verschiedensten Anwendungen in Verankerungsgründen aus Stahlbeton und Mauerwerk angepasst. In den europäischen technischen Zulassungen heißt es hinsichtlich des Einbaus von Dübeln: „Einbau durch entsprechend geschultes Personal unter Aufsicht des Bauleiters“. Ergänzend heißt es dazu seit Oktober 2010 in den „Hinweisen für die Montage von Dübelverankerungen“ des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt) [92] in Abschnitt 1 wie folgt:

„Speziell wird von den Besonderen Bestimmungen“ der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen und europäischen technischen Zulassungen „gefordert, dass von der Brauchbarkeit der Dübelverankerung nur ausgegangen werden kann, wenn der Einbau der Dübel durch geschultes Personal unter Verantwortung des Bauleiters erfolgt. In den Abschnitten 4 und 5“ von [92] „werden die erforderlichen Kompetenzen für Monteure und mögliche Schulungsmaßnahmen vorgestellt. Werden diese Randbedingungen eingehalten, so ist von geschultem Personal auszugehen.“

In Zusammenarbeit mit der Universität Stuttgart wurde ein Konzept entwickelt, um dem ausführenden Handwerker das notwendige Grundlagenwissen für die richtige Montage und den Umgang mit den teilweise sehr umfangreichen Zulassungen zu vermitteln. Die Ausbildung zum „Zertifizierten Befestigungstechniker“ konnte bereits 2003 ins Leben gerufen werden. Das zweieinhalb Tage dauernde Seminar vermittelt dem Anwender einerseits die wichtigsten theoretischen Grundlagen für den sicheren Umgang mit Dübeln, beinhaltet aber auch einen umfangreichen Praxisteil. Darin werden insbesondere typische Anwendungsfehler und mögliche daraus entstehende Gefahren thematisiert.

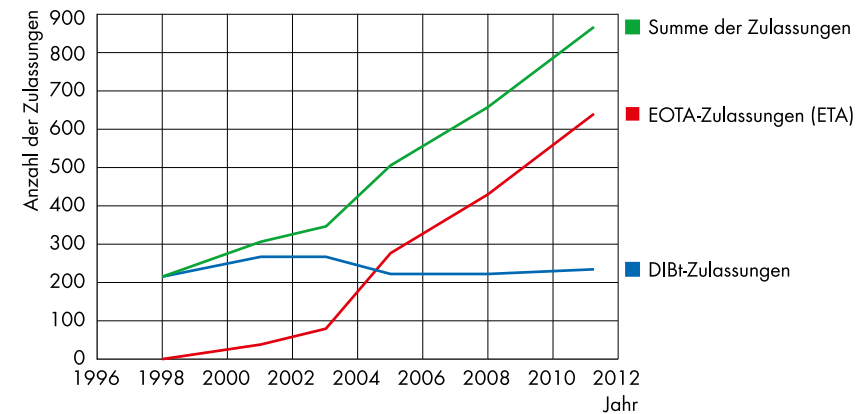


Bild 14.1: Entwicklung der Zulassungszahlen im Bereich der Verankerungs- und Befestigungstechnik seit Einführung der europäischen technischen Zulassungen nach [78] bzw. nach Angaben des Deutschen Instituts für Bautechnik (www.dibt.de)

14.2 Inhalte

In den nachfolgenden Kapiteln soll kurz auf die verschiedenen Inhalte des Lehrgangs eingegangen werden. Es soll aufgezeigt werden, dass das benötigte Wissen zur Ausführung einer sicheren Befestigung sehr umfangreich ist und dass eine qualifizierte Ausbildung zum sicheren Umgang mit Befestigungen deutlich beiträgt. Der Lehrplan wurde in Zusammenarbeit mit dem Institut für Werkstoffe im Bauwesen der Universität Stuttgart entwickelt.



Bild 14.2: Jedes Dübelssystem wird ausführlich erklärt und die „trockene Theorie“ durch Beispiele und „begreifbare Dübel“ veranschaulicht

14.3 Einwirkungen

Die Einwirkungen auf ein Befestigungsmittel lassen sich in lastabhängig und lastunabhängig unterteilen. Lastabhängige Einwirkungen sind z. B. das Eigengewicht eines zu befestigenden Bauteils bzw. nur sehr langsam veränderliche Verkehrslasten, wie wie z. B. der zeitweilige Aufenthalt von Personen im Gebrauchszustand auf einem zu befestigenden Stahlpodest. Neben diesen statischen Belastungen gibt es auch ermüdungsrelevante (dynamische) Lasten wie z. B. stoßartige Lasten, beispielsweise durch einen Anprall, oder sich häufig wiederholende Lasten, etwa bei einem Aufzug. Diese Lasten können als Zugkraft, Druckkraft, Querlast und Schrägzuglast unter einem bestimmten Winkel zur Dübelachse auftreten. Außerdem können Kombinationen dieser Lasten auftreten. Lastunabhängige Einwirkungen wie schadstoffhaltige Luft und Niederschläge können die schützende Deckschicht, z. B. Zink, von der Dübeloberfläche abtragen. Dies kann zu Korrosion und somit zur Schwächung des tragenden Querschnitts führen. Im Außenbereich und in Feuchträumen darf nur rostfreier Stahl eingesetzt werden. Des Weiteren können unter direkter Sonneneinstrahlung zum Teil Temperaturen von über 80 °C auftreten. Zu den lastunabhängigen Einwirkungen gehören Frost und Feuer. Außerdem sind ggf. Zwangskräfte zu berücksichtigen.

14.4 Untergründe

Die Grundlage für eine sichere Befestigung sind Kenntnisse über den Untergrund. Es gibt Befestigungsmittel für Beton, Leichtbetonsteine, Vollziegel, Lochziegel, Kalksandsteine, Porenbeton usw. Für jeden dieser Untergründe gibt es speziell entwickelte Befestigungsmittel, die sich in der Anwendung und den übertragbaren Lasten teilweise deutlich unterscheiden. Für sehr viele Untergründe gibt es Dübelssysteme mit allgemeiner bauaufsichtlicher bzw. europäischer technischer Zulassung. Zulassungsbescheide für die Anwendung von Verbund- und Kunststoffdübeln gelten im Beton meist für den Festigkeitsbereich C12/15 bis C50/60, Zulassungsbescheide für Metallspreiz- und Hinterschnittdübel für den Bereich von C20/25 bis C50/60. Neben Beton ist Mauerwerk einer der wichtigsten

Untergründe für die Dübeltechnik. Es gibt Mauerwerk aus Leichtbetonsteinen, Ziegelsteinen, Porenbeton, Kalksandsteinen und Normalbetonsteinen. Loch- und Vollsteine wiederum unterscheiden sich durch den prozentualen Lochanteil. Für Steine, die den deutschen Normen entsprechen, gibt es allgemein bauaufsichtlich zugelassene Dübel. Eine grundlegende Änderung bei Mauersteinen erfolgte im April 2006: Bis dahin galten in Deutschland nur die deutschen Normen für Mauersteine. In diesen Steinen nach DIN waren Kunststoff-Rahmendübel und Injektionssysteme für Mauerwerk zugelassen. Seit April 2006 gilt in Deutschland eine europäische Regelung, umgesetzt in DIN EN 771. Die Lastwerte in den allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen gelten nun für die alten im Bestand vorhandenen DIN-Steine und für Steine, die den neuen deutschen „Restnormen“ entsprechen. Darüber hinaus gibt es aber sehr viele Steine mit CE-Kennzeichnung und/oder allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen. Für diese Steine gelten die Lastangaben aus den allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen nicht. In den neuen europäischen technischen Zulassungen können auch charakteristische Lastwerte für bauaufsichtlich zugelassene und/oder CE gekennzeichnete Steine enthalten sein. Weichen die auf der Baustelle verbauten Steine von den in der Dübelzulassung aufgeführten Steinen ab, so werden Versuche am Bauwerk erforderlich. Grundsätzlich muss aber die Eignung des Dübels für die Verankerung z. B. in einem Hochlochziegel durch die ETA nachgewiesen sein, bevor in einem davon abweichenden Hochlochziegel Versuche am Bauwerk durchgeführt werden können.

14.5 Montage und Funktion

Dübelssysteme kann man prinzipiell durch drei unterschiedliche Wirkungsweisen unterscheiden: Formschluss (z. B. Hinterschnittanker), Reibschluss (z. B. Bolzenanker) und Stoffschluss (z. B. Verbundanker). Bei jedem dieser Systeme müssen für die Ausführung einer sicheren Befestigung unterschiedliche Vorgaben beachtet werden. Diese Vorgaben sind in den jeweiligen Zulassungen angegeben. Zu den wichtigsten Montageparametern gehört das richtige Bohrverfahren, die Bohrlochreinigung und das Aufbringen des vorgeschriebenen Drehmoments usw. Da sich nahezu alle Systeme durch eine unterschiedliche Vorgehensweise bei der Montage unterscheiden, ist eine genaue Beachtung der Angaben in den Zulassungen außerordentlich wichtig.



Bild 14.3: Die richtige Bohrlochreinigung ist bei Dübeln sehr wichtig



Bild 14.4: Die Auswirkungen einer falschen Montage (hier zu geringer Randabstand) werden eindrucksvoll bewiesen

14.6 Regelungen/Inhalte der Zulassungen

Da der Bereich der Befestigungstechnik noch ein sehr großes Innovationspotenzial aufweist und bei Weitem noch nicht abschließend erforscht ist, sind Befestigungen nicht in Normen erfasst. Der Verwendungsnachweis als Bauprodukt wird über eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung, die durch das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt) in Berlin erteilt wird, oder eine europäische technische Zulassung (ETA), die entweder durch das DIBt oder eine andere europäische Zulassungsstelle erteilt werden kann, erbracht.



Bild 14.5: Der richtige Umgang mit den umfangreichen Zulassungen muss geübt werden

14.7 Praktische Versuche

Bei Nichtbeachtung der in den Zulassungen vorgegebenen Montagevorschriften wie z. B. Rand- und Achsabstände, Bohrlochreinigung, Bohrverfahren, Montagedrehmoment, Temperatur usw. kann es zu erheblichen Schäden kommen. Aus diesem Grund ist es extrem wichtig, über den korrekten Einsatz der verschiedenen Befestigungsmittel Bescheid zu wissen. Es ist außerdem unerlässlich, den richtigen Umgang mit den teilweise sehr umfangreichen Zulassungen zu beherrschen. Im praktischen Teil des Lehrgangs zum Zertifizierten Befestigungstechniker wird aus diesem Grund großer Wert auf den richtigen Umgang mit den Zulassungen und das Vermeiden von typischen Montagefehlern gelegt. Dazu werden Dübel nach Zulassungen bzw. mit typischen Montagefehlern gesetzt.



Bild 14.6: Die Zugzone (gerissener Beton, Kapitel 6.24) wird durch „Rissplatten“ simuliert



Bild 14.7: Um Bewehrungstreffer zu vermeiden, hilft ein Bewehrungssuchgerät

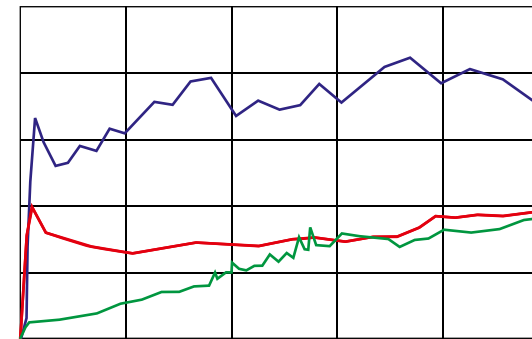
Es werden z. B. Verbundanker mit und ohne Bohrlochreinigung oder Bolzenanker mit vorgeschriebenem und zu niedrigem bzw. zu hohem Drehmoment montiert. Außerdem wird der Unterschied zwischen ungerissenem Beton (nachgewiesene Druckzone) und gerissenem Beton (Zugzone) bei verschiedenen Dübeln aufgezeigt. Dazu sind in jeder Schulung zwei Betonkörper zur Simulation von ungerissenem bzw. gerissenem Beton vorhanden. Außerdem können die von den Kursteilnehmern gesetzten Dübel über eine hydraulische Zügeinrichtung mit aufwendiger elektronischer Messtechnik direkt bis zum Versagen belastet werden. Somit ist es möglich, die Auswirkungen von Montagefehlern direkt anhand von Last-Verschiebungskurven darzustellen.



Bild 14.8: Kann man die Versagensarten (Kapitel 6.2.1) nicht am besten verstehen, wenn man sie selbst sieht?



Bild 14.9: Mit aufwendiger Messtechnik werden die Dübel bis zum Versagen belastet

Last N_u [kN]

- W-ED nach bauaufsichtlicher Zulassung montiert
- W-ED falsch montiert
- W-ED-Zugzone (gerissener Beton)

Verschiebung s [mm]Bild 14.10: Der Einschlagdübel funktioniert nicht nur in der Theorie **nicht** in der Zugzone (gerissener Beton); dies kann in den Versuchen sehr eindrucksvoll gezeigt werden

14.8 Abschluss

Am dritten Seminartag legen die Teilnehmer ihre Prüfung vor der Universität Stuttgart ab und erhalten nach bestandener Prüfung das Universitäts-zertifikat. Dieses bescheinigt dem Teilnehmer das notwendige, fachgerechte Wissen über Dübel mit technischer Zulassung und befähigt ihn, dieses in Theorie und Praxis einzusetzen – mitunter ein deutlicher Vorteil gegenüber Mitbewerbern, zumal die Frage der Sicherheit heute mehr denn je im Fokus steht.



Bild 14.11: Glückliche Teilnehmer nach bestandener Prüfung

15 Literatur

- [1] Asmus, J., Verhalten von Befestigungen bei der Versagensart Spalten des Betons, Dissertation, Universität Stuttgart, 1999.
- [2] Bauberatung Zement, Zuschlag für Normalbeton: Arten, Anforderung, Prüfung, Zementmerkblatt Betontechnik, Köln, 2003.
- [3] Bauministerkonferenz (ARGEBAU): Musterbauordnung – MBO (für die Länder der Bundesrepublik Deutschland, aktuelle Fassung unter www.is-argebau.de).
- [4] BG Bau Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft, BGI/GUV-I 663: Handlungsanleitung für den Umgang mit Arbeits- und Schutzgerüsten. Berlin 2010.
- [5] Block, K., Dreier, F., Das Ermüdungstragverhalten von Dübelbefestigungen, Deutscher Ausschuss für Stahlbetonbau, Heft 541, Berlin 2003.
- [6] Block, K., Dreier, F., Die Ermüdungsfestigkeit zuverlässig und kostengünstig ermitteln – Das interaktive Verfahren, Materialprüfung 40 (1998), Heft 3.
- [7] Block, K., Dübelverbindungen im Kraftwerksbau – Eine Bestandsaufnahme, Bautechnik 76 (1999), Heft 11, S. 976 – 982.
- [8] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, KTA 1401:1996-06: Allgemeine Anforderungen an die Qualitätssicherung, Beuth Verlag, Berlin.
- [9] CEN/TS 1992-4 siehe DIN SPEC 1021-4 bzw. DIN CEN/TS 1992-4: Bemessung der Verankerung von Befestigungen in Beton; Deutsche Fassung CEN/TS 1992-4. Teil 1: Allgemeines. Teil 2: Kopfbolzen. Teil 3: Ankerschienen. Teil 4: Dübel – Mechanische Systeme. Teil 5: Dübel – Chemische Systeme.
- [10] Cook, R. A., Kunz, J., Fuchs, W., Konz, R. C., Behaviour and Design of Single Adhesive Anchors under Tensile Load in Uncracked Concrete. ACI Structural Journal, V. 95, No. 1, 1998, S. 9 – 26.
- [11] Deutsche Gesellschaft für Mauerwerksbau e. V. (DGfM): CE-Kennzeichnung von Mauersteinen, Ausgabe 2: Januar 2006 (Download unter <http://www.dgfm.de/merkblaetter.html>).
- [12] Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung – DGUV, BGV D 9: Arbeiten mit Schussapparaten, Carl Heymanns Verlag, Köln, Ausgabe 01/1997.
- [13] Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt) und Fachverband Werkzeugindustrie e. V. (FWI): Merkblatt über die Kennwerte, Anforderungen und Prüfungen von Mauerbohrern mit Schneidkörpern aus Hartmetall, die zur Herstellung der Bohrlöcher von Dübelverankerungen verwendet werden, Januar 2002.
- [14] Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt): Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-21.3-1909 vom 10. Juni 2010 für „Würth Injektionssystem W-VIZ/S dynamic, W-VIZ/HCR dynamic“.
- [15] Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt): Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-30.3-6 vom 20. April 2009 und Änderungsbescheid vom 2. Mai 2011 für „Erzeugnisse, Verbindungsmittel und Bauteile aus nichtrostenden Stählen“ (Bezugsmöglichkeit: Informationsstelle Edelstahl Rostfrei – Sonderdruck 862 und Ergänzung zum Sonderdruck 862).
- [16] Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt): Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-8.1-16.2 vom 12. Dezember 2008 für Gerüstsystem „Layher-Blitzgerüst 70 S“.
- [17] Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt): Bauregelliste A, Bauregelliste B und Liste C (die aktuelle Fassung kann unter www.dibt.de/de/aktuelles_bauregellisten.html heruntergeladen werden).
- [18] Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt): Bemessungsverfahren für Dübel zur Verankerung in Beton (Anhang zum Zulassungsbescheid), Juni 1993.
- [19] Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt): Einmalverwendung von Betonschrauben. Schreiben an die Antragsteller europäischer technischer Zulassungen für Betonschrauben zur Verankerung im Beton vom 31. August 2006 (Download unter http://www.dibt.de/de/data/Aktuelles_Ref_1_2_A1.pdf).
- [20] Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt): Leitfaden für Dübelbefestigungen in Kernkraftwerken und anderen kerntechnischen Anlagen, Juni 2010.
- [21] Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt): Verwendung von Dübeln in Kernkraftwerken und kerntechnischen Anlagen – Leitfaden zur Beurteilung von Dübelbefestigungen bei der Erteilung von Zustimmungen im Einzelfall nach den Landesbauordnungen der Bundesländer, September 1998.
- [22] DIN 1045-1: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton. Teil 1: Bemessung und Konstruktion. Teil 2: Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität – Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1. Teil 3: Bauausführung.

- [23] DIN 105-100: Mauerziegel – Teil 100: Mauerziegel mit besonderen Eigenschaften.
- [24] DIN 25449: Bauteile aus Stahl- und Spannbeton in kerntechnischen Anlagen – Sicherheitskonzept, Einwirkungen, Bemessung und Konstruktion.
- [25] DIN 50100: Werkstoffprüfung; Dauerschwingversuch, Begriffe, Zeichen, Durchführung, Auswertung.
- [26] DIN EN 12602: Vorgefertigte bewehrte Bauteile aus dampfgehärtetem Porenbeton; Deutsche Fassung EN 12602.
- [27] DIN EN 1990: Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung; Deutsche Fassung EN 1990.
- [28] DIN EN 1991: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke; Deutsche Fassung EN 1991.
- [29] DIN EN 1992: Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken; Deutsche Fassung EN 1992. Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau. Teil 1-2: Tragwerksbemessung für den Brandfall. Teil 2: Betonbrücken. Teil 3: Silos und Behälterbauwerke aus Beton.
- [30] DIN EN 1996: Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten; Deutsche Fassung EN 1996.
- [31] DIN EN 1998: Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben; Deutsche Fassung EN 1998.
- [32] DIN EN 206-1: Beton – Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität; Deutsche Fassung EN 206-1.
- [33] DIN EN 771: Festlegungen für Mauersteine; Deutsche Fassung EN 771. Teil 1: Mauerziegel. Teil 2: Kalksandsteine. Teil 3: Mauersteine aus Beton (mit dichten und porigen Zuschlägen). Teil 4: Porenbetonsteine. Teil 5: Betonwerksteine.
- [34] DIN EN 998-2: Festlegungen für Mörtel im Mauerwerksbau; Deutsche Fassung EN 998-2. Teil 2: Mauermörtel.
- [35] DIN V 106: Kalksandsteine mit besonderen Eigenschaften.
- [36] DIN V 18151-100: Hohlblöcke aus Leichtbeton – Teil 100: Hohlblöcke mit besonderen Eigenschaften.
- [37] DIN V 18152-100: Vollsteine und Vollblöcke aus Leichtbeton – Teil 100: Vollsteine und Vollblöcke mit besonderen Eigenschaften.
- [38] DIN V 18153-100: Mauersteine aus Beton (Normalbeton) – Teil 100: Mauersteine mit besonderen Eigenschaften.
- [39] DIN V 20000: Anwendung von Bauprodukten in Bauwerken. Teil 401: Regeln für die Verwendung von Mauerziegeln nach DIN EN 771. Teil 402: Regeln für die Verwendung von Kalksandsteinen nach DIN EN 771. Teil 403: Regeln für die Verwendung von Mauersteinen aus Beton nach DIN EN 771. Teil 404: Regeln für die Verwendung von Porenbetonsteinen nach DIN EN 771.
- [40] DIN V 4165-100: Porenbetonsteine – Teil 100: Plansteine und Planelemente mit besonderen Eigenschaften.
- [41] Ehrenstein, G. W., Aus Reihenuntersuchungen mit Bauwerksdübeln aus Polyamid, Verbindungstechnik, 1976, Heft 12, S. 13 – 14, 1976.
- [42] Ehrenstein, G. W., Bauwerksdübel aus Thermoplasten, auch zugelassen als tragende Bauelemente, Verbindungstechnik, 1976, Heft 4, S. 25 – 28, 1976.
- [43] Eligehausen, R., Pregartner, T., Befestigungen in Mauerwerk – neue Erkenntnisse und Konsequenzen, IBK-Baufachtagung Nr. 263 „Dübel und Befestigungstechnik“, Institut für Bauen mit Kunststoffen e. V., Darmstadt, 2000.
- [44] Eligehausen, R., Pregartner, T., Weber, S., Befestigungen in Mauerwerk, Mauerwerk-Kalender 2000, Ernst & Sohn Verlag, Berlin, 2000, S. 361 – 385.
- [45] Eligehausen, R., Mollé, R., Befestigungstechnik im Beton- und Mauerwerksbau. Ernst & Sohn Verlag, Berlin, 2000.
- [46] Eligehausen, R., Mollé, R., Rehm, G., Befestigungstechnik, Betonkalender 1997, Teil II, Ernst & Sohn Verlag, Berlin, 1997, S. 609 – 753.
- [47] Eligehausen, R., Meszaros, J., Influence of Installation Inaccuracies on the Behaviour of Bonded Anchors, Evaluation of the Test Results, Bericht Nr. 1/80-96/11, Institut für Werkstoffe im Bauwesen, Universität Stuttgart, 1996, nicht veröffentlicht.
- [48] Eligehausen, R., Spieth, H. A., Sippel, Th. M., Eingemörtelte Bewehrungsstäbe – Tragverhalten und Bemessung, Beton- und Stahlbetonbau 94 (1999), Heft 12, S. 512 – 523.
- [49] Eligehausen, R., Appl, J. J., Lehr, B., Meszaros, J., Fuchs, W., Tragverhalten und Bemessung von Befestigungen mit Verbunddübeln unter Zugbeanspruchung, Teil 1: Einzeldübel mit großem Achs- und Randabstand, Beton- und Stahlbetonbau 99 (2004), Heft 7, S. 561 – 571.
- [50] Eligehausen, R., Appl, J. J., Lehr, B., Meszaros, J., Fuchs, W., Tragverhalten und Bemessung von Befestigungen mit Verbunddübeln unter Zugbeanspruchung, Teil 2: Gruppen und Einzeldübel am Bauteilrand, Beton- und Stahlbetonbau 100 (2005), Heft 10, S. 856 – 864.

- [51] Entwicklung des Transportbetons, beton 9, 1999.
- [52] European Organisation for Technical Approvals (EOTA): ETAG 001 – Leitlinie für die europäische technische Zulassung für Metaldübel zur Verankerung in Beton. Teil 1: Dübel – Allgemeines. Teil 2: Kraftkontrolliert spreizende Dübel. Teil 3: Dübel – Hinterschnittdübel. Teil 4: Wegkontrolliert spreizende Dübel. Teil 5: Verbunddübel. Teil 6: Dübel für die Verwendung als Mehrfachbefestigung von nichttragenden Systemen. Anhang A: Einzelheiten der Versuche. Anhang B: Versuche zur Ermittlung der zulässigen Anwendungsbedingungen. Anhang C: Bemessungsverfahren für Verankerungen (die deutsche Veröffentlichung erfolgt im Bundesanzeiger. Für einen Hinweis auf die aktuelle Fassung siehe www.dibt.de/de/data/erstelte_Leitlinien.pdf. Kostenloser Download der englischen Sprachfassung unter www.eota.eu/en-GB/content/endorsed-etag-s/9/).
- [53] European Organisation for Technical Approvals (EOTA): ETAG 020 – Leitlinie für die europäische technische Zulassung für Kunststoffdübel als Mehrfachbefestigung von nichttragenden Systemen zur Verankerung im Beton und Mauerwerk. Teil 1: Allgemeines. Teil 2: Kunststoffdübel zur Verwendung in Beton. Teil 3: Kunststoffdübel zur Verwendung in Vollsteinen. Teil 4: Kunststoffdübel zur Verwendung in Hohl- oder Lochsteinen. Teil 5: Kunststoffdübel zur Verwendung in Porenbeton. Anhang A: Einzelheiten der Versuche. Anhang B: Empfehlungen für die Durchführung von Versuchen am Bauwerk. Anhang C: Bemessungsverfahren für Verankerungen (die deutsche Veröffentlichung erfolgt im Bundesanzeiger. Für einen Hinweis auf die aktuelle Fassung siehe www.dibt.de/de/data/erstelte_Leitlinien.pdf. Kostenloser Download der englischen Sprachfassung unter www.eota.eu/en-GB/content/endorsed-etag-s/9/).
- [54] European Organisation for Technical Approvals (EOTA): ETAG 029 – Leitlinie für die europäische technische Zulassung für Metallinjektionsdübel zur Verankerung im Mauerwerk. Anhang A: Einzelheiten der Versuche. Anhang B: Empfehlungen für die Durchführung von Versuchen am Bauwerk. Anhang C: Bemessungsverfahren für Verankerungen (Die deutsche Veröffentlichung erfolgt im Bundesanzeiger. Für einen Hinweis auf die aktuelle Fassung siehe www.dibt.de/de/data/erstelte_Leitlinien.pdf. Kostenloser Download der englischen Sprachfassung unter www.eota.eu/en-GB/content/endorsed-etag-s/9/).
- [55] European Organisation for Technical Approvals (EOTA): Technical Report TR 020 – Beurteilung der Feuerwiderstandsfähigkeit von Verankerungen im Beton (Bestellmöglichkeit unter www.dibt.de. Kostenloser Download der englischen Sprachfassung unter www.eota.eu/en-GB/content/technical-reports/11/).
- [56] European Organisation for Technical Approvals (EOTA): Technical Report TR 023 – Beurteilung von nachträglich eingemörtelten Bewehrungsanschlüssen (Bestellmöglichkeit unter www.dibt.de. Kostenloser Download der englischen Sprachfassung unter www.eota.eu/en-GB/content/technical-reports/11/).
- [57] European Organisation for Technical Approvals (EOTA): Technical Report TR 029 – Bemessung von Verbunddübeln (Bestellmöglichkeit unter www.dibt.de/de/Referat_I2_4216.html. Kostenloser Download der englischen Sprachfassung unter www.eota.eu/en-GB/content/technical-reports/11/).
- [58] Forschungs- und Materialprüfungsanstalt Baden-Württemberg (1985/1), Untersuchungsbericht Nr. II.4-14488 vom 18.4.1985 über Versuche an axialzugbeanspruchten Kopfbolzen (Serie 7), Stuttgart, 1985, nicht veröffentlicht.
- [59] Fuchs, W., Eligehausen, R., Breen, J. E. (1995), Concrete Capacity Design (CCD) Approach for Fastening to Concrete, ACI Structural Journal, Vol. 92, 1995, Heft 1, S. 73 – 94.
- [60] Fuchs, W., Eligehausen, R., Das CC-Verfahren für die Berechnung der Betonausbruchlast von Verankerungen, Beton und Stahlbetonbau 90 (1995), Heft 1, S. 6 – 9, Heft 2, S. 38 – 44, Heft 3, S. 73 – 76.
- [61] Fuchs, W., Eligehausen, R., Tragverhalten und Bemessung von auf Querkraft beanspruchten Dübelbefestigungen mit Randeinfluss im ungerissenen Beton, Bericht Nr. 10/9-86/13, Institut für Werkstoffe im Bauwesen, Universität Stuttgart, 1986, nicht veröffentlicht.
- [62] Fuchs, W., Evolution of Design Methods in Europe, Symposium on Connections between Steel and Concrete, Stuttgart, Rilem Proceedings Pro 21, Editor R. Eligehausen, Cachan Cedex, 2001.
- [63] Fuchs, W., Huber, E., Tragverhalten drehmomentkontrolliert spreizender Metaldübel in Beton – Einfluss der Zuschläge. Befestigungstechnik, Bewehrungstechnik und ..., Rolf Eligehausen zum 60. Geburtstag, ibidem-Verlag, Stuttgart, 2002.

- [64] Güteschutzverband Stahlgerüstbau e.V./Bundesinnung für das Gerüstbauer-Handwerk/Bundesverband Gerüstbau: Merkblatt zur Verankerung von Arbeits- und Schutzgerüsten in Fassaden mit Wärmedämmverbundsystemen. Köln 2009.
- [65] ISO 5468: Schlagbohrer (Mauerbohrer) mit Schneiden aus Hartmetall – Maße.
- [66] Küenzlen, J. H. R., Sippel, T. M., Behaviour and design of fastenings with concrete screws, In: RILEM Proceeding PRO 21 "Symposium on Connections between Steel and Concrete", Cachan Cedex, 2001, S. 919 – 929.
- [67] Küenzlen, J. H. R., Tragverhalten von Schraubdübeln unter statischer Zugbelastung, Dissertation, Universität Stuttgart, erschienen im Selbstverlag, 2005.
- [68] Küenzlen, J. H. R., Einfach verschraubt, Ratgeber Befestigungstechnik, Charles Colemann Verlag, Köln, 2006.
- [69] Lehr, B., Eligehausen, R., Vorschlag eines Bemessungskonzeptes für Verbundanker, Bericht Nr. 20/25-98/6, Institut für Werkstoffe im Bauwesen, Universität Stuttgart, 1998, nicht veröffentlicht.
- [70] Lohmayer, M., Haftungsfragen, Produkthaftung, ..., Vortrag bei der HWK Heilbronn, 2003.
- [71] Meszaros, J., Eligehausen, R., Einfluss der Bohrlochreinigung und von feuchtem Beton auf das Tragverhalten von Injektionsdübeln, Bericht Nr. 98/2-2/2, Institut für Werkstoffe im Bauwesen, Universität Stuttgart, 1998, nicht veröffentlicht.
- [72] Meszaros, J., Tragverhalten von Verbunddübeln im ungerissenen und gerissenen Beton, Dissertation, Universität Stuttgart, 2001.
- [73] Müller, M., Scheller, E., Befestigungsmittel für den Mauerwerksbau, Mauerwerk-Kalender 36 (2011), Hrsg. W. Jäger. Ernst und Sohn, Berlin 2011, S. 267 – 336.
- [74] Patzak, M., Zur Frage der Sicherheit von Setzbolzenbefestigungen in Betonbauteilen, Betonwerk + Fertigteil-Technik 45 (1979) Heft 5, S. 308 – 314.
- [75] Plank, A., Bautechnische Einflüsse auf die Tragfähigkeit von Kunststoffdübeln in Mauerwerk, Baumaschine-Bautechnik 23 (1977), Heft 6, S. 406 – 416.
- [76] Pregartner, T., Eligehausen, R., Fuchs, W., Zugversuche in Hochlochziegeln, Leichtbeton-Hohlblöcken und Kalksandlochsteinen mit Injektionsankern, Bericht Nr. AF 98/4-402/4, Institut für Werkstoffe im Bauwesen, Universität Stuttgart, nicht veröffentlicht.
- [77] Pregartner T., Eligehausen R., Fuchs W., Zugversuche in Hochlochziegeln, Leichtbeton-Hohlblöcken und Kalksandlochsteinen mit Kunststoffdübeln verschiedener Hersteller, Bericht Nr. AF 98/2-402/2, Institut für Werkstoffe im Bauwesen, Universität Stuttgart, nicht veröffentlicht.
- [78] Pregartner, T., Bemessung von Befestigungen in Beton, Ernst & Sohn Verlag, 2009.
- [79] Rehm, G., Eligehausen, R., Mallée, R., Befestigungstechnik, Betonkalender 1988, Teil II, Ernst & Sohn Verlag, Berlin, 1988, S.569 – 663.
- [80] Rehm, G., Gutachterliche Stellungnahme zur Frage der Beanspruchbarkeit von Kunststoffdübeln, 1982, nicht veröffentlicht.
- [81] Rehm, G., Gutachterliche Stellungnahme vom 27.10.1987, München, nicht veröffentlicht.
- [82] Reick, M., Brandverhalten von Befestigungen mit großem Randabstand in Beton bei zentrischer Zugbeanspruchung, Dissertation, Universität Stuttgart, 2001.
- [83] Richtlinie des Rates vom 21. Dezember 1988 zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedstaaten über Bauprodukte (89/106/EWG), zuletzt geändert durch die Verordnung (EG) Nr. 1882/2003 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 29. September 2003 [„Bauproduktenrichtlinie“ (BPR)].
- [84] Sätzler, B. U., Haftungsfragen, Bauvertrag, VOB ..., Vortrag bei der HWK Heilbronn, 2003.
- [85] Schuler, D., Sicherheit und Gebrauchstauglichkeit von Befestigungen, in: Neue Möglichkeiten der Befestigungstechnik im Ingenieurbau, Tagungsband der Technischen Akademie Esslingen, 1996.
- [86] Verordnung (EU) Nr. 305/2011 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 9. März 2011 zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten und zur Aufhebung der Richtlinie 89/106/EWG des Rates [„Bauproduktenverordnung“ (EUBauBVO)].
- [87] Weber, S., Eligehausen, R., Tragfähigkeit von Injektionsdübeln in Mauerwerk, Bericht Nr. AF 97/5-96407/1, Institut für Werkstoffe im Bauwesen, Universität Stuttgart, nicht veröffentlicht.

- [88] Weber, S., Lehr, B., Sippel, T., Eligehausen, R., Tragverhalten von Kunststoffdübeln in Hohlmauerwerk, Bericht Nr. AF 97/1-1/1, Universität Stuttgart, Institut für Werkstoffe im Bauwesen, nicht veröffentlicht.
- [89] Weigler, H., Karl, S., Beton, Arten – Herstellung – Eigenschaften, Ernst & Sohn Verlag, Berlin, 1989.
- [90] Wöhler, A. Z., Bauwesen, 8 (1858) 642, 10 (1860) 583, 13 (1863) 233, 16 (1866) 67, 20 (1870) 74.
- [91] Wolf, J., Arbeits-, Fassaden- und Schutzgerüste im Mauerwerksbau, Mauerwerk-Kalender 34 (2009), Hrsg. W. Jäger. Ernst & Sohn, Berlin 2009, S. 355 – 395.
- [92] Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt): Hinweise für die Montage von Dübelverankerungen, Oktober 2010 (Download möglich unter http://www.dibt.de/de/Fachbereiche/Referat_I2_Veroeffentlichungen.html).
- [93] Küenzlen, J. H. R., Dübeltechnik praxisnah, Teil 2: Bemessung und Ausführung von Sonderbefestigungen in Mauerwerk, Mauerwerk-Kalender 37 (2012), Ernst & Sohn Verlag, Berlin, 2012, S. 275 – 302.

16 Formelzeichen

16.1 Indizes

E	Einwirkung
L	Last
M	Werkstoff
N	Normalkraft
R	Widerstand, Zwang
V	Querkraft
a	Beschleunigung
b	Verbund
c	Beton
ca	Verbindung
cb	Lokaler Betonausbruch
cp	Betonausbruch auf der lastabgewandten Seite
d	Bemessungswert
el	Elastisch
eq	Seismisch (Erdbebenbeanspruchung)
fat	Ermüdung
fi	Brand
fix	Anbauteil
flex	Biegung
G	Einwirkung bzw. Widerstand bei Gruppenbefestigungen
h	Höchstbeanspruchtes Befestigungsmittel in einer Gruppenbefestigung
k	Charakteristischer Wert
l	Lokal
max	Maximum
min	Minimum
nom	Nominal (Nennwert)
p	Herausziehen
pl	Plastisch
re	Bewehrung
s	Stahl
sp	Spalten
u	Höchstwert
y	Fließen
0	Grundwert

Formelzeichen

16.2 Einwirkungen und Widerstände

g	Schwerkraft
F	Einwirkung, Kraft allgemein
N	Normalkraft (positiv = Zugkraft, negativ = Druckkraft)
V	Querkraft
M	Moment
M1	Biegemoment, einwirkend auf die Befestigung um die Achse in Richtung 1
M2	Biegemoment, einwirkend auf die Befestigung um die Achse in Richtung 2
T	Torsionsmoment, einwirkend auf die Befestigung
$F_{Rk} (N_{Rk}; V_{Rk})$	Charakteristischer Wert des Widerstands eines einzelnen Befestigungsmittels bzw. einer Gruppenbefestigung (Normalkraft, Querkraft)
$F_{Rd} (N_{Rd}; V_{Rd})$	Bemessungswert des Widerstands eines einzelnen Befestigungsmittels bzw. einer Gruppenbefestigung (Normalkraft, Querkraft)
$F_{Ek} (N_{Ek}; V_{Ek}; M_{Ek}; T_{Ek})^{1)}$	Charakteristischer Wert der Einwirkung eines einzelnen Befestigungsmittels bzw. einer Gruppenbefestigung (Normalkraft, Querkraft)
$F_{Ed} (N_{Ed}; V_{Ed}; M_{Ed}; T_{Ed})^{1)}$	Bemessungswert der Einwirkung eines einzelnen Befestigungsmittels bzw. einer Gruppenbefestigung (Normalkraft, Querkraft)

¹⁾ Beachte Hinweis in Kapitel 9.2.3

16.3 Beton und Stahl

f_{cd}	Bemessungswert der einaxialen Druckfestigkeit des Betons
f_{ck}	Charakteristische Zylinderdruckfestigkeit des Betons (Betondruckfestigkeitsklasse), bestimmt an Zylindern
$f_{ck,cube}$	Charakteristische Würfeldruckfestigkeit des Betons (Betondruckfestigkeitsklasse), bestimmt an Würfeln mit einer Kantenlänge von 150 mm
f_{yk}	Charakteristischer Wert der Streckgrenze des Stahls (Nennwert)
f_{uk}	Charakteristische Zugfestigkeit des Stahls (Nennwert)
A_s	Beanspruchte Querschnittsfläche des Stahls
W_{el}	Elastisches Widerstandsmoment, ermittelt aus dem Spannungsquerschnitt des Stahls

16.4 Befestigungsmittel und Befestigungen

a_1 (a_2)	Abstand der äußeren Befestigungsmittel benachbarter Befestigungen in Richtung 1 (Richtung 2)
a_3	Abstand zwischen Betonoberfläche und Stelle der angenommenen Einspannung eines Befestigungsmittels unter Querlast mit Hebelarm
b	Breite des Betonbauteils
b_{fix}	Breite des Anbauteils
c	Randabstand, gemessen zur Achse des Befestigungsmittels oder der Achse der Ankerschiene
c_1	Randabstand in Richtung 1
c_2	Randabstand in Richtung 2
c_{cr}	Charakteristischer Randabstand, erforderlich zur Gewährleistung des charakteristischen Randabstands eines einzelnen Befestigungsmittels
c_{min}	Kleinster zulässiger Randabstand
d	Durchmesser des Befestigungsmittels oder des Gewindedurchmessers
d_f	Durchmesser des Durchgangslochs im Anbauteil
d_{nom}	Außendurchmesser des Befestigungsmittels
d_s	Durchmesser des Bewehrungsstabs
d_0	Bohrernennendurchmesser
e_1	Abstand zwischen Querlast und Betonoberfläche
h	Dicke des Betonbauteils, in dem das Befestigungsmittel montiert ist
h_{ef}	Effektive Verankerungstiefe
h_1	Tiefe des Bohrlochs bis zum tiefsten Punkt
h_{nom}	Gesamtlänge des Dübels im Verankerungsgrund
h_{min}	Kleinste zulässige Dicke des Betonbauteils
l	Hebelarm der Querlast, die auf das Befestigungsmittel wirkt
l_f	Wirksame Dübellänge bei Querlast
n	Anzahl der Befestigungsmittel in einer Gruppenbefestigung
s	Achsabstand der Befestigungsmittel innerhalb einer Gruppenbefestigung, gemessen von Mitte zu Mitte der Befestigungsmittel oder Achsabstand bei Bewehrungsstäben
s_1 (s_2)	Achsabstand von Befestigungsmitteln in einer Gruppenbefestigung in Richtung 1 (Richtung 2)
s_{cr}	Charakteristischer Achsabstand (Achsabstand zur Gewährleistung der Übertragung des charakteristischen Widerstands)
s_{min}	Kleinster zulässiger Achsabstand
t	Zeit
t_{grout}	Dicke des Mörtelbetts
t_{fix}	Dicke des Anbauteils

Verantwortlich für den Inhalt:

Abteilung PFV: E. Scheller; Dr. J. Küenzlen

Kapitel „Ermüdungsrelevante (dynamische) Einwirkungen“ und „Befestigungen im Kernkraftwerksbau“:

Privatdozent Dr.-Ing. Klaus Block – Akademischer Direktor Betonbau – Befestigungstechnik – TU Dortmund;

E-Mail: klaus.block@tu-dortmund.de

Bei Fragen zu diesem Thema wenden Sie sich bitte an unsere Abteilung Produkt- und Anwendungsberatung:

Telefon: 07940 15-2552

Telefax: 07940 15-4222

E-Mail: Produkt-Anwendungsberatung@wuerth.com

Wir behalten uns das Recht vor, Produktveränderungen, die aus unserer Sicht einer Qualitätsverbesserung dienen, auch ohne Vorankündigung oder Mitteilung jederzeit durchzuführen. Abbildungen können Beispielabbildungen sein, die im Erscheinungsbild von der gelieferten Ware abweichen können.

Irrtümer behalten wir uns vor, für Druckfehler übernehmen wir keine Haftung.

Unsere anwendungstechnischen Empfehlungen entsprechen dem derzeitigen Erkenntnisstand in Wissenschaft und Praxis. Sie entbinden den Käufer nicht davon, unsere Produkte auf ihre Eignung für den vorgesehenen Verwendungszweck in eigener Verantwortung selbst zu prüfen.

Es gelten unsere allgemeinen Geschäftsbedingungen.

Produktion:

Swiridoff Verlag, Goethestr. 14, 74653 Künzelsau

info@swiridoff.de

Gestaltung und Satz:

D. Geiger, K. Wells GbR – Neues Sortiment, Karlsruhe

Druck und Bindung:

Beltz Druckpartner, Hemsbach

© 2013 Adolf Würth GmbH & Co. KG,

Swiridoff Verlag, Künzelsau und Autoren

Alle Rechte vorbehalten

ISBN 978-3-89929-262-6